Über künstliche Ionisierung durch Zerstäuben von Flüssigkeiten und ihre praktische Verwertung

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

genehmigt von der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Kurt Treibich

aus Bromberg

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Juli 1939.

Tag der Promotion: 18. Jan. 1940

1939

Druckerei wissenschaftlicher Werke Konrad Triltsch
Würzburg-Aumühle

N 102

Referenten: Professor Dr. Kähler.

Professor Dr. Bartels.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Inhalt.

Seite

1. Die Versuchsapparatur und ihre Wirkung 1

2. Zerstäubung von Luft 3

3. Zerstäubung von destilliertem Wasser 6

4. Die Abhängigkeit der künstlichen Ionisierung von den einzelnen Faktoren 10

5. Zerstäubung verschiedener Lösungen 18

6. Trocknungsversuche:
   a) Holz 33
   b) Bleiche 41
   c) Gelatinemasse und Boluspulver 44

7. Die Möglichkeit des Weiterleitens von unipolarer Luft 47

8. Messungen mit Anemostaten:
   a) Zwei verschiedene Systeme des Anemostaten 51
   b) Neuer Apparat zur künstlichen Ionisierung von Ziv.-Ing. H. Meixner (Lufterneuerer) 55

9. Zusammenfassung 57

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550822_0064

1. Die Versuchsapparatur und ihre Wirkung.

Ausgangspunkt der nachfolgenden Untersuchungen war die Veröffentlichung von Kähler, in der gezeigt wird, daß die künstliche Ionisierung mittels flüssiger Ionen große Vorzüge hat. Im Gegensatz dazu benutzt die Dessauersche Apparatur die durch Glühentladungen entstandenen Magnesiumoxydionen; das AEG-Gerät erzeugt Ionen künstlich durch Spitzenentladung. Für den menschlichen Organismus sind ein Teil dieser Ionen bei der Einatmung schädlich. Kähler[1]) benutzte die Bartel'sche Kugeldüse zur Herstellung von künstlichen, flüssigen Ionen, die von Sienholz[2]) zuerst beschrieben worden ist und die von Müller[3]) verwandt wurde. Auch die von mir angestellten Versuche wurden mit dieser Apparatur durchgeführt. Es ist eine massive Metallkugel, die eine Bohrung von 2 Kanälen bis in ihre Mitte hat. Von dort gehen mehrere feinere Bohrungen zu dem Äquator der Kugel. Für Inhalationszwecke benutzte Kugeln haben meistens Bohrungen, die im rechten Winkel vom Mittelpunkt zum Äquator gehen. Ich benutzte auch Kugeln mit einer und zwei Bohrungen im Äquator. Die Kugel ist an einem hohlen Isolationsstab frei aufgehängt und wird durch ein Zuleitungskabel, das an der Kugel befestigt ist, dauernd auf konstant hohem Potential gehalten. Gewonnen wird die Hochspannung aus einem transformierten Wechselstrom, der, ehe er zur Kugel gelangt, ein Gleichrichterventil passieren muß. Schaltet man in den Primärstrom noch einen Widerstand ein, so kann man vom Gleichrichterventil sowohl hohe als auch niedere positive und negative Spannung abnehmen. Durch eine mit einem Trichter versehene Metallröhre kann in das Innere der Kugel eine Flüssigkeit gebracht werden, die in der Äquatorebene aus den verschiedenen Bohrungen gleichmäßig austritt. Da eine Düsenwirkung eintreten soll, ist unter jeder Bohrung noch eine zweite angebracht; durch diese tritt Luft unter drei Atmosphären Überdruck

[1]) K. Kähler, Beitr. z. Klin. d. Tuberkulose. Bd. 89, Heft 3, 1937.
[2]) P. Müller, Inhalationsversuche mit ionisierten Substanzen. Inaug.-Diss. Köln.
[3]) H. Sienholz, Über Inhalation mit unipolar ionisierter Luft. Inaug.-Diss. Köln 1935.

(Atü) aus, die durch den hohlen Isolationsstab der Kugeldüse zugeführt wird, so daß sie die einzelnen Wassertröpfchen mitreißt.

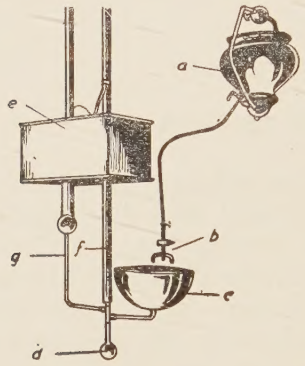


Fig. 1.

Barthel'sche Apparatur.

a = Flüssigkeitsbehälter,
b = Regulierung der Flüssigkeitsmenge,
c = Eintropfgefäß
d = Barthel's Kugelzerstäuber,
e = Isoliergehäuse,
f = Druckluftzufuhr,
g = Hochspannungs-Zuleitung.

Da die Zufuhr des Wassers tröpfchenweise erfolgt, werden auch die einzelnen Tröpfchen, dem Schweregesetz folgend, in Tropfenform aus der Düse austreten und durch die Einwirkung des elektrischen unipolaren Feldes eine Umgestaltung erfahren. Ein Tropfen besteht aus vielen Molekülen, die durch ihre molekulare Anziehung untereinander einen nach innen gerichteten Zug verursachen, der bestrebt ist, dem Tropfen die kleinstmögliche Oberfläche zu geben. Die Oberflächenspannung muß sich durch jede Beeinflussung der Oberfläche stark ändern, z. B. durch Staubteilchen und durch Temperaturänderung. Ebenso tritt eine Änderung der Oberflächenspannung im elektrischen Kraftfeld ein, in dem die einzelnen Moleküle auseinandergerissen werden; dadurch wird die Oberflächenspannung sehr klein und der Tropfen zerfällt. Je höher die Spannung liegt, desto stärker ist die Kraft, die der Oberflächenspannung entgegenwirkt und desto kleiner werden die auseinandergerissenen Tröpfchen. Diese kleinen Tröpfchen können als Ionen angesprochen werden. Man kann also den „ionisierenden" Faktoren bei Gasen wie Kathoden-, Kanal-, Röntgen-, Besquerelstrahlen, ultraviolettes Licht, hohe Temperaturen, noch einen für Gase und Flüssigkeiten hinzufügen, nämlich feine Zerstäubung unter hoher unipolarer Spannung.

Da die Tröpfchen die gleichen Ladungen von der Kugeldüse mitbekommen, kann keine Nebelbildung eintreten, weil die Ladung ein Zusammenfließen verhindert. Daß die Tröpfchengröße nach Anlegen der Spannung an die Düse stark verringert wurde, stellte Kähler nach der optischen Methode fest. Es zeigte sich, daß die Höfe, die an einer kleinen Glühlampe entstanden, beim Anlegen der Spannung

größer wurden. Praktisch fand diese künstliche Isolierung bisher nur in der Medizin bei Inhalationen Verwendung, da die fein aufgeladenen Tröpfchen, wie nachgewiesen, bis in die Lungenalveolen eindringen. Es soll hier nur die Heilung von Asthma und die Immunisierung großer Menschengruppen gegen Seuchen in verhältnismäßig kurzer Zeit erwähnt sein. Mir war die Aufgabe gestellt, die physikalischen Verhältnisse bei dem Vorgang weiter zu klären und andere praktische Verwendungsmöglichkeiten zu finden. Die Versuche wurden in Potsdam, Frankfurt/Main, Köln und Giesenkirchen in geeigneten Laboratorien und Versuchsräumen ausgeführt. Für die Messung der Ionen verwandte ich den Ebert'schen Ionenzähler [1]).

Ein 40 cm langer Metallstab steht senkrecht auf einem Wulf'schen Zweifadenelektrometer, welches mit Hilfe eines Mikroskops abgelesen wird. Die äußere Elektrode besteht aus einem geschwärzten Messinghohlzylinder von 3 cm Durchmesser, auf dem sich oben eine Schutzkappe befindet. Durch einen Aspirator wird eine bestimmte Luftmenge an dem Metallstab (Zerstreuungskörper) vorbeigesaugt. Das Außenrohr des Ionenzählers und das Gehäuse sind während der Messung geerdet.

Die abgegebene Ladung E ± ergibt sich dann nach der Formel·

$$E \pm = n \pm \cdot \varepsilon = \frac{C\,(Vo - Vt)}{M \cdot 300} \text{ E. S. E.}$$

Dabei ist: M die Menge der durchgesaugten Luft, C die Kapazität des Apparates (16,2 cm²), Vo die Anfangsspannung, Vt die Endspannung, ε die Einheitsladung eines jeden Ions (4,77 · 10^{-10}, E.S.E.), n + die Anzahl der positiven Ionen, n — die Anzahl der negativen Ionen im cm³. Die Fläche des Rohres, durch welche die Luft gesaugt wurde, betrug 6,4 cm², die Anfangsspannung des Zerstreuungskörpers immer etwas über 200 Volt. Die Schwierigkeit bei der Messung bestand darin, die Bernsteinisolierung des Zerstreuungskörpers von jeglichen Verunreinigungen, wie Staub und Wasserteilchen freizuhalten, da sonst eine beträchtliche Fälschung der Meßergebnisse eintrat.

2. Zerstäubung von Luft.

Kähler hat gezeigt, daß eine starke Ionisierung der Luft mit Hilfe der Barthel'schen Kugeldüse zu erreichen ist. Schon ohne Spannung an der Düse, nur mit Wasserzerstäubung, unter 3 Atü. war eine

---

[1]) „Luftelektrizität", bearbeitet von Kähler, Berlin 1935, S. 630, in: Kleinschmidt, Handb. d. meteorologischen Instrumente.

starke Elektrisierung festzustellen, beruhend auf dem bekannten Lenard-Effekt[1]). Die Elektrisierung nahm mit wachsender Entfernung von der Kugeldüse ab. Bei 4 m Abstand betrug sie noch das 200 fache der gewöhnlichen Luft. Bei der Zerstäubung von Druckluft unter 3 Atü. war keine Änderung der Ionenzahl festzustellen, wurde die Luft aber aus der auf — 100 Kilo Volt (KV) aufgeladenen Düse zerstäubt, so stieg die negative Elektrisierung merklich an, auf das 40 fache der Zimmerluft, während bei positiver Aufladung sich kaum eine Änderung bemerkbar machte. Ich habe diese Versuche wiederholt. Zur Erläuterung sei eine Versuchsreihe genau beschrieben: Bei der Zerstäubung von Druckluft unter 3 Atü. und einer Aufladung der Kugeldüse auf — 70 KV wurden in 1,40 m Abstand von der Düse im März 1938 in Giesenkirchen von mir folgende Werte gemessen:

Zerstäubung von Luft.

Zeitdauer	Wulf'sches Zweifaden-Elektrometer Ablesung links	Ablesung rechts	Aufladung des Zerstreuungskörpers	Vo — Vt
	54,0	50,0	+	24,3
1 min.	46,0	42,0		
	63,0	60,7	—	
1 min.	61,1	58,9		5,0
	62,8	61,1	+	
1 min.	58,0	56,0		14,2
	60,5	62,5	—	
1 min.	60,0	58,0		7,3
	63,0	61,0	+	
1 min.	58,5	56,0		13,8

Es wurde nur während der Zeit von einer Minute gemessen, da bei einer längeren Zeitdauer eine Verstaubung der Isolation unvermeidbar war, herrührend von den in der Nähe laufenden Maschinen. Auch die stark schwankenden Werte für Vo—Vt sind aus dem Staubgehalt der Luft zu erklären, die durch den Kompressor in die Düse gelangte, wo die einzelnen Staubteilchen mit aufgeladen wurden, so

[1]) P. Lenard, Wied. Ann. 46, p. 584, 1892. Literatur über die Wasserfallelektrizität: J. Elster u. H. Geitel, Wied. Ann. 47, p. 496, 1892; K. Wesendonck, Wied. Ann. 51, p. 353, 1894; W. Köster, Inaug.-Diss. Bonn, 1899; Wied. Ann. 69, p. 12, 1899; K. Kähler, Inaug.-Diss. Ann. d. Phys. Bd. 12, p. 1119, 1903; E. Aselmann, Inaug.-Diss. Ann. d. Phys. p. 6527, 1906; F. Linke u. H. Israel, Schwere Ionen i. d. Atmosphäre, in Dessauer; 10 Jahre Forschung ...

daß natürlich eine größere Entladung des Zerstreuungskörpers die Folge war. Es ergab sich bei der vorhergehenden Meßreihe für $E_+ = 2{,}9 \cdot 10^{-6}$ elektrostatische Einheiten (E.S.E.). Für E_- schwankten die Werte zwischen $6{,}5 \cdot 10^{-6}$ E.S.E. und $11{,}5 \cdot 10^{-6}$ E.S.E. Mittelwert $= 8{,}3 \cdot 10^{-6}$ E.S.E. Das Verhältnis $\frac{E_+}{E_-} = q_E$ ist ein Maß für den Überschuß der positiven über die negativen Ionen. Hier war $q_E = 0{,}35$. Vor den Versuchen betrug die Elektrisierung der Luft im selben Raum:

$E_+ = 0{,}25 \cdot 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}24 \cdot 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 1{,}06$.

In folgender Tabelle sind alle Versuche für die Zerstäubung von Druckluft zusammengefaßt, die teils in Potsdam, teils in Frankfurt/Main und Giesenkirchen durchgeführt worden sind. Unter Entfernung ist die Entfernung der Kugeldüse vom Ionenzähler in Metern; Höhe, die Höhe der Meßstelle über dem Erdboden in Metern; Spannung, die Spannung an der Kugeldüse in KV; Wasser, die zerstäubte Wassermenge in cm^3 pro min bezeichnet. G ist die durch das Anemometer gesaugte Luft in cm/sec.

Tab. 1:

Zerstäubung von Luft unter 3 Atü. mit und ohne Spannung.

Entfernung m	Höhe m	Spannung KV	G cm/sec für E_+	für E_-	x10^{-6} E. S. E. E_+	x10^{-6} E. S. E. E_-	q_E
1,4	0,8	0	293	297	0,25	0,24	1,06
1,4	0,8	—70	290	295	2,9	8,3	0,35
1,4	0,8	0	292	299	0,18	0,18	1,00
1,4	0,8	0	295	297	0,26	0,29	0,92
2,0	1,2	0	77	77	4,1	5,6	0,73
2,0	1,6	0	69	74	0,25	0,20	1,25
2,0	1,6	—100	—	53	·	33,6	nahe 0
2,0	1,6	—100	—	97	·	17,2	·
2,0	1,6	— 50	77	78	0,18	2,3	0,08
0,7 m (hinter der Düse gemessen)	1,6	0	84	84	0,42	0,50	0,84
	1,6	—100	91	80	2,1	17,3	0,095
	1,6	—100	88	86	1,3	19,0	0,095

Vergleicht man die Werte für die abgegebenen Ladungen der ruhenden Luft mit den Werten der unter 3 Atü. zerstäubten Luft ohne Spannung an der Kugeldüse, so ist kein Unterschied festzustellen. Werden dagegen die Werte der unter Spannung zerstäubten

Luft mit den Werten der ruhenden Luft verglichen, so ergeben sich merkbare Unterschiede. Bei — 70 KV ist die negative Elektrisierung gleich dem 35 fachen und die positive Elektrisierung gleich dem 13 fachen der umgebenden Luft. Bei — KV ist die negative Elektrisierung gleich dem 12 fachen, die positive aber nur $^7/_{10}$ der umgebenden Luft. Bei — 100 KV sind scheinbar kaum positive Ionen in der Luft; dagegen wachsen die negativen auf das 90- bis 170 fache für gewöhnliche Luft. Die Elektrisierung der Luft hinter der Düse war bedeutend kleiner; bei — 100 KV ist die positive gleich dem 4 fachen, die negative Elektrisierung gleich dem 36 fachen, das sind ähnliche Verhältnisse wie bei der Messung im Luftstrahl bei — 70 KV. Mit zunehmender Spannung nimmt also auch die Ionenzahl zu. Die Luft ist bei — 100 KV Spannung an der Düse schon als unipolar zu bezeichnen. Die Versuche zeigen, daß es auf diese Art möglich ist, Luft unipolar leitend zu machen.

3. Zerstäubung von destilliertem Wasser.

Die Zerstäubung von destilliertem Wasser unter 3 Atü. ohne Spannung zeigen in folgender Tabelle zusammengefaßte Versuche, die auch wieder in Potsdam, Frankfurt/Main und Giesenkirchen durchgeführt worden sind.

Tab. 2:

Zerstäubung von dest. Wasser ohne Spannung.

Versuch	Entfernung m	Höhe m	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E.S.E. E_+	x10^{-6} E.S.E. E_-	q_E
1	2,0	0,8	298	293	43,5	72,5	0,60
2	1,5	1,5	290	297	10,8	12,3	0,88
3	1,8	1,5	296	294	43,6	74,0	0,59
4	2,5	1,5	293	297	10,2	15,4	0,67
5	2,0	1,2	84	84	26,6	26,1	0,89
	2,0	1,2	84	84	19,7	—	0,89
6	2,0	1,2	93	69	16,5	25,8	0,93
	2,0	1,2	77	94	23,0	16,9	0,93
7	2,0	0,8	296	298	13,6	13,3	1,02

Bei Versuch 2 ist 1,2 m neben dem Strahl gemessen worden,
bei Versuch 4 ist 1,3 m neben dem Strahl gemessen worden, und
bei Versuch 7 ist 0,5 m neben dem Strahl gemessen worden,
die Düse war gegen Ende der Messung etwas verschmutzt.

Bezogen auf Luft ($E_+ = 0{,}25 \cdot 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}24 \cdot 10^{-6}$ E.S.E.) ergibt sich für die positive Elektrisierung der Luft in 2 m

Entfernung von der Düse im Strahl (Versuch 1) das 170 fache und für die negative Elektrisierung das 300 fache der Elektrisierung der Luft. Wird der Abstand kleiner gewählt, so nimmt die Elektrisierung zu (Versuch 3), und der Lenardeffekt tritt im Überwiegen der negativen Ladungen noch deutlicher in Erscheinung. Die in Potsdam gemessenen Werte (Versuch 5 und 6) weichen etwas ab. Das liegt aber an den nicht ganz übereinstimmenden Versuchsanordnungen, bei q_E ist eine bessere Übereinstimmung festzustellen. In 1,2 m Entfernung neben dem Strahl (Versuch 2) beträgt die positive Elektrisierung nur noch das 43 fache, die negative Elektrisierung das 52 fache. Bei Versuch 4 überwiegen die negativen Ladungen mehr. Sie betragen das 41 fache für die positive Elektrisierung und das 65 fache für die negative Elektrisierung der Luft.

Das bedeutet aber, daß im Strahl die Elektrisierung der Luft am größten ist und somit auch das Überwiegen der negativen Ionen. Entfernt man sich weiter von der Strahlmitte, nimmt die Elektrisierung der Luft und auch das Überwiegen der negativen Ionen über die positiven beträchtlich ab. Man sieht, daß es auf diese Weise mit der Kugeldüse nicht möglich ist, unipolar geladene Luft zu erzeugen. Zwar überwiegen meistens die negativen Ladungen, aber stets sind die positiven in selbst merklicher Zahl vorhanden. Das wird nun anders beim Anlegen der Hochspannung an die Kugeldüse.

Werden die Werte in der vorhergehenden Tabelle wieder auf die Elektrisierung gewöhnlicher Luft bezogen, so ergab sich bei Versuch 1 mit negativer Aufladung das 960 fache der Elektrisierung der Luft für negative Ionen; die positiven Ionen gingen auf die Hälfte der Luft herunter, also eine recht ausgeprägte Unipolarität. Noch besser tritt es bei Versuch 5 in Erscheinung, wo kaum noch positive Ionen im Meßbereich zu finden waren, die negativen aber auf das 900 fache der ruhenden Luft heraufschnellten. Wurde bei — 100 KV in 2,0 m Entfernung im Strahl gemessen (Versuch 7, 11, 15), betrug die negative Elektrisierung das 1020 fache, die positive das 1,6 fache der Luft. Bei Versuch 3 (positiver Aufladung) betrug die positive Aufladung der Luft das 228 fache, die negative das 26 fache. Das bedeutet aber, daß trotz höherer positiver Spannung die Unipolarität bei weitem nicht so schön ausgeprägt war, als bei negativer Spannung an der Düse. Wird für Versuch 8 und 10 der Mittelwert gebildet, so ergibt sich bei + 100 KV an der Düse in 2,0 m Entfernung im Strahl für die positiven Ionen das 710 fache, für die negativen ungefähr derselbe Wert wie für Luft, also auch hier ist die Unipolarität bedeutend geringer als für negative Düsenspannung. Der Unterschied

Tab. 3: *Die Zerstäubung von dest. Wasser mit Spannung.*

Versuch	Entfernung m	Höhe m	Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E.S.E. für E_+	x10^{-6} E.S.E für E_-	q_E
1	1,4	0,8	— 70	298	297	0,14	228	0,0006
2	1,4	0,8	+ 90	294	297	142	25,6	5,55
3	1,4	0,8	+ 90	299	300	60,5	7,55	8,02
4	1,5	1,5	— 70	297	295	1,89	151,5	0,0125
5	1,8	1,5	— 70	296	298	nahe 0	260	nahe 0
6	2,5	1,5	— 70	295	294	4,79	74,2	0,0646
7	2,0	1,2	—100	97	97	0,3	183	0,0025
„	2,0	1,2	—100	61	73	0,6	—	
8	2,0	1,2	+100	77	61	140	0,3	590
„	2,0	1,2	+100	78	—	141	—	590
„	2,0	1,2	+100	73	—	160	—	590
„	2,0	1,2	+100	76	—	280	—	590
„	2,0	1,2	+100	69	—	156	—	590
„	2,0	1,2	+100	64	—	184	—	590
9	2,0	1,2	0	93	69	16,5	25,8	0,93
„	2,0	1,2	0	77	94	23,0	16,9	0,93
10	2,0	1,2	+100	106	—	264	—	844
„	2,0	1,2	+100	97	91	283	0,3	844
„	2,0	1,2	+100	133	—	213	0,3	844
11	2,0	1,2	—100	—	123	—	213	0,0024
„	2,0	1,2	—100	—	97	—	164	0,0024
„	2,0	1,2	—100	98	86	0,2	302	0,0024
„	2,0	1,2	—100	84	80	1,2	445	0,0024
„	2,0	1,2	—100	—	86	—	346	0,0024
„	2,0	1,2	—100	—	91	—	305	0,0024
12	2,0	1,2	+ 50	123	67	103	1,9	88
„	2,0	1,2	+ 50	106	—	170	—	88
„	2,0	1,2	+ 50	69	51	202	1,8	88
13	2,0	1,2	— 50	107	133	0,4	140	0,0024
„	2,0	1,2	— 50	—	91	—	188	0,0024
„	2,0	1,2	— 50	—	91	—	175	0,0024
„	2,0	1,2	— 50	—	91	—	154	0,0024
14	2,0	1,6	—100	57	84	76	2900	0,029
„	2,0	1,6	—100	91	—	91	—	0,029
15	2,0	1,2	—100	—	106	nahe 0	359	nahe 0
16	2,0	1,2	—100	76	49	20	748	0,03
„	2,0	1,2	—100	64	69	14	500	0,03
17	2,0	1,8	—100	64	—	62	—	0,048
„	2,0	1,8	—100	72	78	132	2100	0,048
„	2,0	1,8	—100	66	78	132	2100	0,048
„	2,0	1,8	—100	69	78	48	2100	0,048

Bei Versuch 2 wurde 0,5 m seitlich von der Strahlmitte gemessen; im Meßraum war viel Staub. Bei Versuch 4 wurde 1,2 m seitlich von der Strahlmitte und bei Versuch 6 1,3 m seitlich von der Strahlmitte gemessen. Bei Versuch 14 wurde 40 cm über der Strahlmitte gemessen. In Versuch 16 sind die gemessenen Werte nicht ganz reell, da die Isolation verstaubt war. Bei allen Versuchen wurden 20—30 cm^3/min unter 3 Atü. zerstäubt.

zwischen positiver und negativer Aufladung der Düse ist sehr gut bei Versuch 12 und 13 zu erkennen. Hier tritt auch wieder bei negativer Aufladung der Düse höhere Unipolarität auf als bei positiver Aufladung. Mit sinkender Spannung an der Düse sinkt aber auch die Stärke der Ionisierung und verbunden damit auch die Unipolarität.

Schon 0,5 m seitlich von der Strahlmitte (Versuch 2) nahm die Unipolarität stark ab. Bei Versuch 4 1,2 m seitlich vom Strahl betrug die Ionisierung der Luft bei — 70 KV an der Düse das 525 fache für negative, für positive Ionen das 7 fache der Normalwerte. Wurde eine Entfernung von 2,5 m von der Düse gewählt und 1,3 m neben dem Strahl gemessen (Versuch 6), so ging auch hier die Unipolarität stark zurück; es stiegen die positiven Ladungen auf das 256 fache der Luft. Zur Bestätigung dieser Angaben möchte ich weitere Meßreihen anführen, die zum Teil in Potsdam, zum anderen Teil in Giesenkirchen (Rheinland) gefunden wurden.

Tab. 4:

Die Zerstäubung von dest. Wasser mit Spannung.

Anzahl der Messungen	Entfernung m	Höhe m	Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10⁻⁶ E. S. E. E_+	x10⁻⁶ E. S. E. E_-	q_E
3	2,0	1,6	—100	51	76	2,62	1650	0,0016
4	2,0	1,5	— 70	296	294	0,43	293	0,0015
3	2,0	1,5	+ 90	301	398	48,8	6,98	7,00
5	1,4	1,5	— 70	293	290	0,24	304	0,0008
2	1,4	1,5	+ 90	287	295	70,1	5,43	12,9
—	1,5	1,4	— 70	300	290	1,45	35,4	0,041
—	1,5	1,4	— 70	170	320	2,39	35,6	0,067
—	1,5	1,4	— 70	320	320	1,27	41,2	0,031
—	1,5	1,4	— 70	—	300	—	44,6	0,035

Die letzten vier Versuche wurden in Köln durchgeführt. Dabei wachsen die positiven Ladungsträger auf das 4fache, die negativen auf das 120fache der Luft an, und es zeigt sich eine sehr deutliche Unipolarität. Das Verhältnis von negativen zu positiven Ladungen ist 30 : 1.
Die ersten fünf Versuche zeigen dieselben Verhältnisse wie in Tabelle 3.
Es wurden 20—30 ccm dest. Wasser pro Minute unter 3 Atü. zerstäubt.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Ionisierung und die Unipolarität der Luft bei negativer Spannung an der Düse größer ist als bei positiver Spannung. Außerhalb des Strahls sinkt die Unipolarität und die Elektrisierung der Luft. Mit wachsender Entfernung von der Kugeldüse ist auch stets ein allgemeiner Abfall der Ionisierung verbunden.

4. Die Abhängigkeit der künstlichen Ionisierung von den einzelnen Faktoren.

Um die Abhängigkeit der künstlichen Ionisierung der Luft von einzelnen Faktoren festzustellen, wie dem Einfluß der zunehmenden Entfernung, der Spannung, der zerstäubten Wassermenge und der Druckluft der Düse sind in Potsdam besondere Versuche gemacht worden, die in Tabelle 5—9 zusammengestellt worden sind. Bei allen Versuchen in Potsdam hatte die Kugeldüse nur eine Austrittsöffnung.

Tab. 5:

Der Einfluß der wachsenden Entfernung auf die künstliche Ionisierung.

Entfernung m	Höhe m	Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10⁻⁶ E.S.E. E_+	x10⁻⁶ E.S.E. E_-	q_E
2,0	1,6	—100	53	76	34,0	1650	0,02
2,0	1,6	—100	49	—	18,3	—	0,02
3,0	1,6	—100	76	73	18	865	0,02
4,0	1,6	—100	97	84	3,8	274	0,03
4,0	1,6	—100	80	—	11,2	—	0,03
2,0	1,6	—100	80	80	45,0	2560	0,02
3,0	1,6	—100	97	91	9,7	900	0,01
4,0	1,6	—100	63	76	10,8	479	0,03
5,0	1,6	—100	91	84	7,2	133	0,06
2,0	1,6	+100	83	83	3380	90	37,6
3,0	1,6	+100	66	63	1340	72	18,6
4,0	1,6	+100	91	123	321	18,2	17,6
5,0	1,6	+100	89	91	146	9,4	15,6
2,0	1,6	—100	80	97	99	2700	0,07
2,0	1,6	—100	62	—	225	—	0,07
2,0	1,6	0	54	50	403	439	0,92
3,0	1,6	0	60	76	176	149	1,18
4,0	1,6	0	68	68	108	84	1,28
5,0	1,6	0	66	78	157	122	1,29

Zerstäubt wurden wieder 20—30 ccm dest. Wasser in der Minute unter 3 Atü. Gemessen wurde kurz nach dem Einstellen des Strahls.

Der Vergleich der Ergebnisse in 3 m, 4 m und 5 m Entfernung von der Düse mit den Werten in 2 m Entfernung zeigt folgendes:

Lag keine Spannung an der Düse, dann ging die positive Elektrisierung in 3 m Entfernung auf die Hälfte, die negative auf ein Drittel, in 4 m Entfernung die positive auf $^1/_4$, die negative auf $^1/_5$, in 5 m Entfernung die positive auf $^1/_3$, die negative auf $^1/_4$ zurück. Ohne

Spannung nimmt also die negative Elektrisierung mit zunehmender Entfernung stärker ab als die positive Elektrisierung der Luft, scheint aber bei 4 m in beiden Vorzeichen einem konstanten Wert zuzustreben.

In 3 m Entfernung bei — 100 KV im Strahl ging die positive und negative Elektrisierung auf $^4/_{10}$ herunter, in 4 m Entfernung die positive auf den 4., die negative auf den 6. Teil, in 5 m Entfernung die positive auf den 6. Teil, die negative auf den 19. Teil. Bei positiver Düsenspannung ging in 3 m Entfernung die positive Elektrisierung auf $^1/_3$ herunter, die negative war nicht viel geringer als in 2 m Entfernung. In 4 m ging die positive auf $^1/_{10}$, die negative auf $^1/_2$, in 5 m Entfernung die positive auf $^1/_{23}$, die negative auf $^1/_{10}$ zurück. Ist die Düse negativ aufgeladen, so nimmt die negative Elektrisierung der Luft mit wachsender Entfernung stärker ab als die positive, bei positiver Aufladung der Düse nimmt die positive Elektrisierung der Luft mit wachsender Entfernung stärker ab.

Weiter wurde untersucht, inwieweit die Zeit der Zerstäubung auf die Elektrisierung der Luft einen Einfluß hat.

Tab. 6:

Die Abhängigkeit der künstlichen Ionisierung von der Zeit der Zerstäubung.

Zeit min	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E.S.E. E_+	x10^{-6} E.S.E. E_-	q_E
3	—	91	—	420	0,059
13	97	—	24,6	—	0,059
20	—	86	—	710	0,056
27	94	—	39,4	—	0,056
39	—	91	—	790	0,067
44	91	—	53,3	—	0,067
59	—	86	—	898	0,054
64	77	—	48,0	—	0,054
94	—	78	—	985	0,060
101	80	—	58,8	—	0,060
138	—	76	—	898	0,062
142	80	—	55,6	—	0,062

Es wurde in 4 m Entfernung und 1,6 m Höhe über dem Boden bei —100 KV Spannung an der Düse und einer Wasserzerstäubung von 20—30 ccm/min unter 3 Atü. Druck gemessen. Unter Zeit ist die Zeit der Messung nach dem Einstellen des Strahls eingetragen.

Die Elektrisierung nahm dauernd zu, um in etwa $1^1/_2$ Stunden den Höchstwert zu erreichen. Die positive Elektrisierung war hier $2^1/_2$mal,

die negative etwa 2mal größer als kurz nach dem Einstellen des Strahls. Ein noch längeres Zerstäuben zeigte eine geringe Abnahme der Elektrisierung. Der Wert q_E blieb während der ganzen Zeit nahezu konstant.

Wurde die Zerstäubung unterbrochen, so zeigte sich ein sehr schnelles Abklingen der Ionisierung. Es wurde wieder bei — 100 KV Spannung, 20—30 ccm/min unter 3 Atü. in 2 m Entfernung 1,6 m über dem Erdboden gemessen. Nach 3 Minuten Zerstäubung ergab sich ein E_- von 4200×10^{-6} E.S.E.

Abklingen der Ionisierung.

Zeit nach dem Abstellen der Zerstäubung.	2 min	3 min	5 min	7 min
E_- x10^{-6} E. S. E.	216	106	64	19

2 Minuten nach dem Abstellen der Zerstäubung sank die negative Ionisierung auf $^1/_{19}$, 3 Minuten auf $^1/_{40}$, 5 Minuten auf $^1/_{65}$, 7 Minuten auf $^1/_{220}$. Man sieht also, daß das Abklingen der Ionisierung sehr schnell vor sich geht.

Tab. 7:

Die Abhängigkeit der Ionisierung der Luft von der Düsenspannung.

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E. S. E. E_+	x10^{-6} E. S. E. E_-	q_E
—100	—	64	—	2740	—
— 50	—	69	—	1770	—
— 13	—	64	—	977	—
— 5,8	—	61	—	704	—
— 1,6	52	58	24,7	620	0,04
0	64	88	53,8	311	0,17
—100	—	76	—	2930	—

Es wurde in 2 m Entfernung und 1,6 m Höhe bei einer Wasserzerstäubung von 20—30 ccm/min unter 3 Atü. gemessen.

Geht die Spannung von 0 auf — 1,6 KV, so steigt die negative Ionisierung der Luft auf das Doppelte, beim Anwachsen der Spannung auf — 5,8 KV wächst auch die negative Ionisierung auf den 2,2 fachen Betrag, ein weiterer Anstieg der Spannung an der Düse auf — 13 KV ergibt für die negative Ionisierung den 3,1 fachen Anteil. Bei — 50 KV

beträgt die negative Ionisierung das 5,7 fache, bei — 100 KV das 9,1-fache der negativen Ionisierung der Luft ohne Spannung. Mit Anwachsen der Düsenspannung steigt also auch die Ionisierung der Luft.

Eine weitere Versuchsreihe diente zur Untersuchung, wie die Ionisierung der Luft vom Düsendruck abhängt.

Tab. 8:

Die Abhängigkeit der Ionisierung der Luft vom Druck.

Spannung KV	Druckluft Atü.	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E. S. E. E_-
—6,6	3	86	455
—6,6	5	52	779
—6,6	3	60	585
—6,6	1	71	366
—6,6	2	53	588
—6,6	3	39	818
—6,6	4	31	1020*
—6,6	5	26	1180*
—100	3	95	2230
—50	3	80	2020
—25	3	88	1180
—25	4,6	93	940
—25	3	89	1140

*) G ist hier sehr klein, das bedeutet aber, wie die Messungen in Tabelle 9 zeigen werden, daß E. zu groß ausfällt, da mit abnehmendem G die Elektrisierung der Luft bei der Messung mit dem Ebert-Ionenzähler immer größer wird.

Mit zunehmendem Druck nimmt im Durchschnitt auch die Ionisierung der Luft zu, doch ist die Zunahme der Ionisierung nicht proportional der Zunahme des Druckes. Wurde der Druck kleiner als 3 Atü, so nahm die Elektrisierung erst schwach, dann aber stärker ab. War der Druck höher als 3 Atü, so nahm hier im Anfang die Ionisierung stärker zu, um bei 4 und 5 Atü schon einem ziemlich konstanten Wert zuzustreben.

In folgenden Versuchen wird geklärt, wie die Durchsauggeschwindigkeit G auf die Werte für die positive und negative Elektrisierung der Luft einwirkt.

Tab. 9:

Messungen mit verschiedenen Durchsauggeschwindigkeiten.

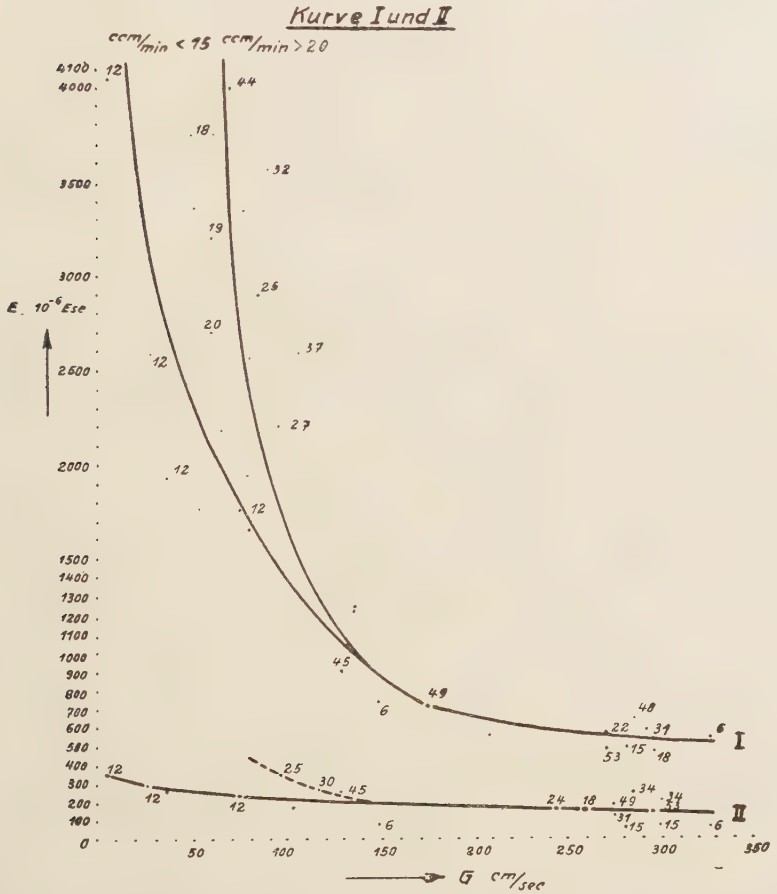
Spannung KV	G cm/sec	Wasser-menge ccm/min	x10^{-6} E. S. E. E_+	x10^{-6} E. S. E. E_-	q_E
0	326	6	68	86	0,79
—100	326	6	18	550	0,03
0	148	6	81	93	0,87
—100	148	6	47	723	0,065
0	74	12	182	211	0,86
—100	74	12	149	1770	0,084
0	37	12	270	267	1,01
—100	37	12	289	1920	0,15
0	18,5	12	301	274	1,1
—100	18,5	12	395	2590	0,15
0	6	12	465	325	1,4
—100	6	12	533	4040	0,13

Der Abstand des Ionenzählers von der Düse betrug 2 m. Gemessen wurde in 1,6 m Höhe im Strahl. Zerstäubt wurde dest. Wasser unter 3 Atü.

Bei der Zerstäubung von dest. Wasser und einer Düsenspannung von — 100 KV zeigt die negative Elektrisierung der Luft eine deutliche und sehr starke Abnahme mit zunehmender Durchsauggeschwindigkeit im Ebert'schen Ionenzähler. Ein Unterschied zwischen starker und schwacher Zerstäubung von dest. Wasser tritt bei Werten über 130 cm/sec für G nicht auf. Bei kleinerer Durchsauggeschwindigkeit ist aber der Unterschied zwischen kleiner und großer Menge des zerstäubten Wassers ziemlich beträchtlich (siehe Kurve I).

Werden über 20 ccm/min zerstäubt, so steigt die Kurve für E_- Werte bedeutend rascher an als bei einer Zerstäubung von 15 ccm/min. Liegt dagegen keine Spannung an der Düse (siehe Kurve II), so nimmt die Ionisierung bei hoher Durchsauggeschwindigkeit auf $^1/_4$ ab. Bei kleinem G ist die Abnahme sehr groß, die negative Ionisierung der Luft geht um mehr als auf $^1/_{16}$ zurück. Die Höhe der zerstäubten Wassermenge hat auf die negative Elektrisierung fast keinen Einfluß, doch besteht die Möglichkeit, daß auch hier ähnlich der Kurve für kleine Durchsauggeschwindigkeit die negative Ionisierung bei hoher Wasserzerstäubung größer ist. Die gestrichelte Kurve könnte den ungefähren Gang darstellen. Für die positive Ionisierung der Luft ist wohl eine ähnliche Verteilung zu erkennen, doch sind hier die Verhältnisse noch nicht so eindeutig geklärt. Der Grund für die starke Abnahme

der negativen Elektrisierung der Luft mit zunehmender Durchsauggeschwindigkeit kann durch folgende Überlegung gefunden werden. Zwischen den beiden Elektroden, dem geschwärzten Messinghohlzylin-



Alle Werte der Kurve I sind in einer Entfernung von 2 m und in einer Höhe von 1,6 m bei —100 KV, der Kurve II in derselben Entfernung, aber bei 0 KV und Wasserzerstäubung gemessen worden. Die Zahlen neben den Punkten bedeuten die zerstäubten Wassermengen in ccm/min.

der als Außenelektrode und dem geschwärzten Messingstab als Innenelektrode wirken sowohl auf die positiven als auch auf die negativen Ionen zwei Kräfte, einmal das durch die angelegte Spannung (~ 200 Volt) an der Innenelektrode erzeugte Feld und zum anderen die

Durchsauggeschwindigkeit G. Bei langsamer Durchsauggeschwindigkeit überwiegt die Kraft des Feldes mehr und deswegen werden mehr Ladungsträger abgefangen.

Die Wanderungsgeschwindigkeit w (die Beweglichkeit der Ionen) errechnet sich nach der Gleichung

$$\lambda = \varepsilon \cdot n \cdot w$$

wobei λ die elektrische Leitfähigkeit, n die Anzahl der Ionen und ε die Elementarladung eines Ions ist. Die Bahn, die ein Ion innerhalb der Elektroden beschreiben muß, kommt durch folgende Gleichung [1]) zum Ausdruck:

$$\frac{-(x - x_0)}{G} = \frac{y^2 - y_0^2}{2 \cdot V \cdot w} \cdot \ln \frac{R}{r},$$

Wenn die x Achse durch die Mitte des Stabes, die y Achse durch die Richtung des R am Ende des Stabes bestimmt ist, wobei R der Radius der Außenelektrode, r der Radius der Innenelektrode, G die Durchsauggeschwindigkeit, V die Spannung an der Elektrode ist. Diese Gleichung besagt, daß die Bahn der Ionen Parabeln sein müssen. Sollen alle Ionen gerade noch von der Innenelektrode abgefangen werden, dann ist:

$$R^2 - r^2 = \frac{2 \cdot V \cdot w \cdot l}{G \cdot \ln \frac{R}{r}}$$

oder

$$\frac{V}{G} = \frac{R^2 - r^2}{2 \cdot w \cdot l} \ln \frac{R}{r} = C$$

wobei C eine Konstante ist. Ist $\frac{V}{G} > G$, dann werden alle Ionen abgefangen; ist $\frac{V}{G} < C$, dann wird nur ein Teil abgefangen. Für die Spannung von 200 Volt und für die größtbenutzte Durchsauggeschwindigkeit von 326 cm/sec errechnet sich eine Grenzbeweglichkeit von $7{,}3 \cdot 10^{-2}$ cm/sec für 1 Volt/cm. Für dieselbe Spannung aber kleinere Durchsauggeschwindigkeiten errechnen sich für die Grenzbeweglichkeit folgende Werte:
Für G = 148 cm/sec ist die Grenzbeweglichkeit:

$$w_g = 3{,}3 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sec für 1 Volt/cm.}$$

[1]) K. Kähler. Ann. d. Physik, Bd. 12, p. 1127. 1903.

$G = 74$ cm/sec ist $w_g = 1{,}65 \cdot 10^{-2}$ cm/sec für 1 Volt/cm.
$G = 37$ cm/sec ist $w_g = 8{,}2 \cdot 10^{-3}$ cm/sec für 1 Volt/cm.
$G = 18{,}5$ cm/sec ist $w_g = 4{,}1 \cdot 10^{-3}$ cm/sec für 1 Volt/cm.
$G = 6$ cm/sec ist $w_g = 1{,}3 \cdot 10^{-3}$ cm/sec für 1 Volt/cm.

Um die vorhergehenden Angaben der Tabelle9 einer Kontrolle durch den Versuch zu unterziehen, sind nochmals Messungen in 2 Gruppen ausgeführt worden, die voneinander durch einen starken Unterschied in der Durchsauggeschwindigkeit G abweichen.

Tab. 9a: mit kleiner Durchsauggeschwindigkeit.

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Wassermenge ccm/min	x10⁻⁶ E.S.E. E_+	x10⁻⁶ E.S.E. E_-	q_E
—100	—	95	27	—	2230	—
—100	—	91	32	—	3580	—
—100	106	106	37	56	2600	0,02
—100	66	61	wenig	218	2710	0,08
—100	112	136	nicht gemessen	91	1210	0,08
—100	—	136	„	—	1210	—
—100	—	76	„	—	2930	—
—100	72	69	44	68	4000	0,017
—100	—	60	nicht gemessen	—	3210	—
0	139	103	„	132	183	0,72
0	110	—	„	221	—	—
0	76	97	„	352	324	1,44
0	60	114	„	487	258	1,44
0	125	129	45	190	244	0,78

Tab. 9b: mit großer Durchsauggeschwindigkeit.

0	320	280	34	117	209	0,60
0	—	300	34	—	181	0,60
0	177	244	24	166	144	1,15
0	287	258	18	88	122	0,72
0	282	280	15	54	70	0,83
0	—	298	15	—	59	0,83
0	130	139	15	87	57	1,11
0	—	138	15	—	100	1,11
0	280	272	48,5	131	160	0,82
—100	—	172	49	—	727	—
—100	284	292	18	28	471	0,06
—100	258	280	15	45	468	0,096
—100	132	129	45	181	900	0,20
—100	258	285	48,5	148	603	0,24

Es wurde in allen Versuchen in 2,0 m Entfernung und 1,6 m Höhe gemessen. Die Wasserzerstäubung fand wieder unter 3 Atü statt.

Die Durchsauggeschwindigkeit ist im Mittel für Tabelle 9a bei — 100 KV 81 cm/sec, für Tab. 9b und — 100 KV 232 cm/sec. Der Wert E_- ergibt sich aus Tabelle 9a bei — 100 KV im Mittel zu $2631 \cdot 10^{-6}$ E.S.E., für Tabelle 9b bei — 100 KV und großer Durchsauggeschwindigkeit zu $611 \cdot 10^{-6}$ E.S.E., d. h. bei etwa dreimal so hoher Durchsauggeschwindigkeit geht die negative Elektrisierung auf $^1/_4$ zurück. Die Werte sind also bei allen Messungen nicht streng vergleichbar, weil man eigentlich auf ein G zu reduzieren hat. Die wirkliche Ionisierung ist, weil ein großer Teil der flüssigen Ionen, die zweifellos schwerer beweglich sind, durch den Ebert-Apparat hindurchgehen, ohne abgefangen zu werden, größer als gemessen. Diese Anzahl ist um so größer, je größer die Durchsauggeschwindigkeit ist. Die Messungen sind demnach nicht quantitativ, sondern qualitativ.

Folgender Versuch soll zeigen, ob die Temperatur des zerstäubten Wassers auf die künstliche Ionisierung der Luft einen Einfluß ausübt.

Zerstäubung von heißem dest. Wasser.

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Wassermenge ccm/min	x10^{-6} E.S.E. E_+	x10^{-6} E.S.E. E_-	q_E
0	300	276	31	94	111	0,85
—100	270	290	31	44	546	0,08
		Zerstäubung von kaltem dest. Wasser.				
0	282	296	22	103	126	0,81
—100	280	270	22	37	546	0,07
0	298	298	53	64	107	0,60
—100	300	270	53	28	470	0,06

Es wurde wieder in 2,0 m Entfernung und in einer Höhe von 1,6 m über dem Boden gemessen. Zerstäubt wurde das Wasser unter 3 Atü.

Es tritt zwischen der Zerstäubung von kaltem und heißem Wasser kein Unterschied in der Ionisierung der Luft auf.

5. Zerstäubung verschiedener Lösungen.

Folgende Versuche sind durchgeführt worden in Giesenkirchen, Potsdam und Köln.

Tab. 10:

Zerstäubung von Brunnenwasser.

Spannung KV	x10^{-6} E. S. E. E_+	x10^{-6} E. S. E. E_-	q_E
—70	26	130	0,200
—70	29	134	0,216
—70	26	130	0,200
+90	133	28,5	4,67
+90	126	26,5	4,75
	Zerstäubung von dest. Wasser.		
0	41	68	0,603
—70	8,6	227	0,038

Die Entfernung der Meßstelle betrug 2,0 m und die Höhe 1,6 m. Zerstäubt wurde unter 3 Atü bei einem G von 300 ccm/sec.

Die negative Elektrisierung der Luft geht auf fast die Hälfte der des dest. Wassers herunter. Die positive Ionisierung steigt bei — 70 KV auf das 4fache und damit nimmt natürlich die Unipolarität stark ab. q_E ist bei Brunnenwasser um ungefähr 5 mal größer als bei dest. Wasser. Trotz der um 20 KV höheren positiven Düsenspannung stellte sich kein merklicher Unterschied zwischen der Elektrisierung der Luft durch positive oder negative Düsenspannung ein. Natürlich ergab sich bei positiver Düsenspannung eine positive Unipolarität. Für ruhende Luft ist $E_- = 0{,}252 \cdot 10^{-6}$ E.S.E. $E_+ = 0{,}237 \cdot 10^{-6}$ E.S.E. Das Verhältnis von Brunnenwasser zu Luft ist demnach für E_+ bei negativer Düsenspannung 114, für E_- 517. Das Verhältnis von dest. Wasser zu Luft ist für $E_+ = 36$, für $E_- = 900$ bei negativer Düsenspannung. Für positive Düsenspannung ist das Verhältnis von Brunnenwasser zu Luft für E_+ 540, für E_- 109. Bei positiver Spannung an der Düse ist eine starke Abnahme der Unipolarität zu verzeichnen. Die Grenzbeweglichkeit ist für positive wie auch für negative Spannung an der Düse $w_g = 0{,}061$ cm/sec für 1 Volt/cm.

Tab. 11:

Zerstäubung von Kochsalzlösung.
(In Potsdam)

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10^{-6} E. S. E. E_+	x10^{-6} E. S. E. E_-	q_E
			0,01% Na Cl Lösung.			
—100	68	60	27	252	2370	0,11
			Dest. Wasser.			
—100	66	61	25	218	2710	0,08
			0,1% Na Cl Lösung.			
—100	100	118	35	252	1950	0,13
			Dest. Wasser.			
—100	78	78	25—35	56	2600	0,02
			0,1% Na Cl Lösung.			
—100	48	43	20—30	656	2460	0,27

Es wurde in 2,0 m Entfernung und in 1,6 m Höhe im Strahl gemessen. Der Druck betrug 3 Atü.

Versuch	Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10^{-6} E. S. E. E_+	x10^{-6} E. S. E. E_-	q_E
				2,0% Na Cl Lösung.			
1	0	48	52	42	85	56	1,52
2	—100	47	46	32	611	2570	0,24
3	— 50	36	51	33	763	1340	0,57
4	— 8	43	35	31	137	1050	0,13
5	—100	44	28	nicht gemessen	845	3560	0,24
6	— 50	36	43	„	688	1940	0,36
7	—100	60	59	„	70	636	0,11
8	—100	53	64	„	32	247	0,13

Gemessen wurde im Strahl in 2,0 m Entfernung und in 1,6 m Höhe. Der Druck betrug 3 Atü. Bei Versuch 7 wurde in 1,0 m und in Versuch 8 in 2,2 m Höhe im Strahl gemessen.

Bei dauerndem Zerstäuben von 2,0% Na Cl Lösung ergaben sich folgende Werte:

Zeit nach dem Einstellen des Strahls min.	Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10⁻⁶ E.S.E. E_+	x10⁻⁶ E.S.E. E_-	q_E
4	—100	51	44	nicht ge-	603	2290	0,26
16	—100	55	44	messen	574	2060	0,28
3	—100	48	49	„	875	2340	0,37
16	—100	46	37	„	1010 *	3780 *	0,27
22	—100	—	41	„	—	990	0,52
			6,5% Na Cl Lösung.				
	0	103	97	13	37	40	0,93
	—100	94	91	11	328	2380	0,13
	—100	88	—	11	293	—	
	0	83	86	33	66	61	1,08
	—100	—	86	38	—	2400	—
	—100	83	80	34	506	1980	0,22
	—100	97	—	34	377	—	—
	— 50	73	60	35	242	1750	0,08
			5,85% Na Cl Lösung (Normallösung). (In Köln gemessen.)				
	— 70	—	330	nicht ge-	—	77,5	0,034
	— 70	—	330	messen	—	64,8	0,041
	— 70	—	330	„	—	61,1	0,044
	— 70	330	330	„	2,67	61,8	0,043
	— 70	330	—	„	3,95	—	0,064
	— 70	320	320	„	2,89	53,6	0,054

Bei dauerndem Zerstäuben wurde auch in 2 m Entfernung und 1,6 m Höhe gemessen.

* Werte sind zu hoch, da der Ionenzähler wahrscheinlich verstaubt war. Bei der Messung in Köln wurde in 1,5 m Entfernung und in 4,4 m Höhe im Strahl gemessen. Die Kugeldüse zerstäubte unter 3 Atü. bei allen Messungen in Köln aus 4 Öffnungen.

Im selben Raum wurde vor der Messung der Wert für E_- zu 0,327 E.S.E. gefunden. Das bedeutet, daß die positiven Ladungsträger um ungefähr das 10fache bei der Zerstäubung angewachsen sind, die negativen aber um das 195fache. Das Verhältnis von negativen zu positiven Ladungen ist 20:1. Es ist also eine gute Unipolarität festzustellen; sie ist nur um $^1/_3$ geringer als die bei der Zerstäubung des dest. Wassers. Die Erhöhung der negativen und der positiven Ladungsträger ist hier größer als bei dest. Wasser. Bei den Potsdamer Messungen zeigt sich bei der Zerstäubung von Na Cl-Lösungen bei un-

geladener Düse überall eine geringere Elektrisierung als bei dest. Wasser. Auch das Überwiegen der negativen Ladungsträger ist hier nicht so schön ausgeprägt wie bei dest. Wasser, eher überwiegen die positiven. Bei − 100 KV stimmt das Verhältnis von negativen zu positiven Ladungen bei der Zerstäubung von dest. Wasser mit dem in Köln gefundenen Wert von 30:1 überein. Ziemlich abweichend wird in Potsdam bei der Zerstäubung von Kochsalzlösungen unter − 100 KV ein Verhältnis von 5:1 gefunden, bei der 0,01 %igen Lösung ein Verhältnis von 9:1 (in Köln bei 5,85 %iger Lösung ist das Verhältnis 20:1). Der Grund dafür ist wohl die in Potsdam nur schwache Zerstäubung aus einer Öffnung der Kugeldüse, während in Köln die Kugeldüse aus vier Öffnungen zerstäubte und somit eine gleichmäßigere Verteilung der Ladungsträger zur Folge hatte.

Tab. 12:

Zerstäubung von physiologischer Kochsalzlösung.
(Potsdam.) (0,9% Na Cl, 0,05% Ca Cl_2.)

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10−6 E. S. E. E_+	x10−6 E. S. E. E_-	q_E
0	69	69	21	43	37	1,16
—100	67	53	20	317	1080	0,32
—100	—	75	20	—	885	—
— 50	76	79	19	160	580	0,22
— 50	—	67	16	—	866	—
—100	86	77	16	213	475	0,45
0	75	69	23	64	52	1,23
—100	69	76	23	704	2000	0,35
— 50	66	69	25	515	2170	0,24
— 8	60	62	27	202	1980	0,10
+ 8	70	68	19	1490	206	7,2
+ 50	74	78	22	2020	368	5,5
+100	64	69	25	2860	659	4,3
0	63	71	21	144	99	1,46
—100	66	67	20	798	2360	0,34
0	125	135		38	29	1,31
—100	112	129		159	753	0,21
— 50	108	112		138	945	0,15
— 8	133	133		20	279	0,07
—100	—	136		—	506	—
— 50	—	123		—	840	—
—100	—	110		—	640	—
— 50	—	121		—	995	—
— 50	—	110		—	916	—
—100	—	108		—	910	—

Es wurde wieder in 2 m Entfernung und 1,6 m Höhe gemessen.
Der Druck betrug 3 Atü.

Auch hier tritt keine so starke Unipolarität wie bei dest. Wasser auf. Vergleicht man die künstlich erzeugten Ladungsträger der physiologischen Kochsalzlösung mit denen der Glaubersalzlösung (Tabelle 14), so ist zu erkennen, daß die positiven Ladungsträger der physiologischen bei — 100 KV das 7fache, die negativen das 2fache denen der Glaubersalzlösung ausmachen. Das q_E ist aber im Mittel bei — 100 KV bei der Glaubersalzlösung 0,12, bei der physiologischen Kochsalzlösung aber 0,40, was eine schwächere Unipolarität der Kochsalzlösung bedeutet. Die angelegte Düsenspannung hat starken Einfluß auf die Unipolarität, sie nimmt mit zunehmender Spannung ab.

Tab. 13:

Zerstäubung von Wiesbadener Kochbrunnen.
(Potsdam.)

Bei allen folgenden Messungen, die in Potsdam durchgeführt wurden, wurde in 2 m Entfernung und 1,6 m Höhe bei 3 Atü. gemessen.

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10—6 E.S.E. E_+	x10—6 E.S.E. E_-	q_E
0	111	114	40	109	48	2,2
—100	138	131	30	51	611	0,08
— 50	108	105	33	172	1290	0,31
—100	133	123	32	74	762	0,10
— 50	103	135	—	191	955	0,20
—100	112	106	19	51	740	0,07
+100	108	129	35	735	155	4,7
+ 50	109	102	36	1030	138	7,5
+ 25	109	—	—	720	—	—

Ist keine Spannung an der Düse, so überwiegen hier die positiven Ladungsträger die negativen um ungefähr das Doppelte. Bei — 50 KV ist das Verhältnis negativ zu positiv 6:1, bei — 100 KV 12:1, bei 50 KV 1:7 und bei 100 KV 1:5. Die Unipolarität ist am besten bei — 100 KV Düsenspannung ausgeprägt, doch reicht sie nicht an die des dest. Wassers heran (30:1).

Tab. 14:

Zerstäubung von Glaubersalzlösungen (Potsdam).
1% $Na_2 SO_4$ Lösung.

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10—6 E. S. E. E_+	x10—6 E. S. E. E_-	q_E
0	272	280	18	24	19	1,26
—100	243	280	18	104	589	0,14
—100	290	—	18	63	—	—
0	262	—	22	18	—	—
0	276	284	22	16	18	0,95
—100	298	272	22	39	572	0,07
+100	276	306	22	467	37	12,6
			4% $Na_2 SO_4$ Lösung.			
0	292	280	17	11	14	0,75
0	287	—	17	10	—	—
—100	276	280	11	51	628	0,08
0	270	280	19	13,4	14,2	1,02
0	—	278	19	—	13,2	—
—100	294	279	19	47	291	0,16
			14,21% $Na_2 SO_4$ Normallösung (Köln).			
— 70	330	320	—	7,43	48,75	0,152
— 70	330	320	—	5,60	54,1	0,103
— 70	—	330	—	—	49,2	0,129

In Köln wurde in 1,5 m Entfernung und 1,4 m Höhe gemessen.
Die Kugeldüse zerstäubte wieder aus 4 Öffnungen.

Bei der Zerstäubung der 1% $Na_2 SO_4$ Lösung überwiegen bei spannungsloser Düse die positiven Ladungsträger die negativen; hat die Düse eine Spannung von — 100 KV ist das Verhältnis negativ zu positiv 10:1, bei + 100 KV 1:13. Wird die 4%ige Lösung zerstäubt, so zeigt sich bei spannungsloser Düse kaum ein Unterschied zwischen positiven und negativen Ladungsträgern, bei — 100 KV an der Düse ist das Verhältnis 9:1. Bei der Normallösung überwiegen die negativen Ladungsträger die positiven um das 8fache. Es ist also keine so deutliche Unipolarität festzustellen wie bei der 5,85%igen Kochsalzlösung (20:1), trotzdem treten aber mehr positive und negative Ladungsträger auf. Es überwiegen die positiven Ladungsträger der Glaubersalzlösung die der Luft um das 20fache, die negativen um das 165fache.

Tab. 15: *Zerstäubung von Salpetersäure* (Potsdam). *1% HNO_3.*

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10−6 E.S.E. E_+	x10−6 E.S.E. E_-	q_E
0	290	272	11	14,6	13,3	1,10
—100	258	276	11	132	564	0,23

Die Unipolarität ergibt bei — 100 KV Düsenspannung nur etwa $^1/_{10}$ der des dest. Wassers, wobei die positiven Ionen die des dest. Wassers um ein Geringes überwiegen. Auch ohne Spannung an der Düse ist die Unipolarität bedeutend schwächer als bei dest. Wasser.

Tab. 16: *Zerstäubung von Terpentinöl* (Potsdam).

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10−6 E.S.E. E_+	x10−6 E.S.E. E_-	q_E
0	280	270	18	0,58	1,11	0,72
0	—	320	18	0,58	0,49	—

Es zeigt sich eine ganz geringe Elektrisierung, wobei die negativen Ladungsträger die positiven um 28% überwiegen. Die Anzahl der positiven Ladungsträger ist ungefähr genau so groß wie die der Luft.

Tab. 17: *Zerstäubung von Eukalyptusöl* (Potsdam).

Spannung KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	Lösungsmenge ccm/min	x10−6 E.S.E. E_+	x10−6 E.S.E. E_-	q_E
—100	276	258	20	5,8	16,8	0,37
—100	239	—	20	6,5	—	—
0	260	276	20	1,7	2,0	0,83
0	320	—	20	1,8	—	—
	Zerstäubung von Fichtennadelöl (Köln).					
— 70	300	320	~ 100	1,87	78,5	0,024
— 70	330	320	~ 100	1,14	84,9	0,013
— 70	320	300	~ 100	2,46	78,4	0,035
— 70	—	300	~ 100	—	61,7	0,035

Es wurde in allen folgenden Messungen in Köln wie auch hier in einer Entfernung von 1,5 m und einer Höhe von 1,4 m im Strahl gemessen.

Bei der Zerstäubung von Ölen wurde im Gegensatz zu Potsdam in Köln eine sehr starke Unipolarität festgestellt. Sie liegt bei — 70 KV Düsenspannung bei der Zerstäubung von Fichtennadelöl (Köln) im Mittel auf dem 14fachen Betrag der Potsdamer Messungen. Das Verhältnis negativer zu positiver Ladungsträger ist bei Eukalyptusöl 3:1, bei Fichtennadelöl 41:1 (dest. Wasser 30:1). Das bedeutet bei der Zerstäubung von Fichtennadelöl eine stärkere Unipolarität als bei der Zerstäubung von dest. Wasser. Es ist noch zu erwähnen, daß die Lösungen in Köln der therapeutischen Konzentration entsprachen.

Tab. 18:

Zerstäubung von Siran (Köln).
1 kleine Flasche auf 3 Liter dest. Wasser.
Die Düsenspannung betrug immer — 70 KV bei 3 Atü. und 100 ccm/min Zerstäubung.

G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10⁻⁶ E.S.E. E_+	x10⁻⁶ E.S.E. E_-	q_E
300	320	4,29	40,9	0,105
—	300	—	49,9	—
—	300	—	56,4	0,068
—	290	—	61,2	0,068
290	320	3,14	64,6	0,049

Tab. 19:

Zerstäubung von Methylephedrin (Köln).
4 Tropfen auf 3 Liter dest. Wasser.

300	300	1,21	90,2	0,013
—	320	—	81,4	0,018
—	320	—	75,6	0,018
320	320	1,66	74,1	0,022

Tab. 20:

Zerstäubung von Guajak. sulfosaures Salz (Köln).
20 g auf 3 Liter dest. Wasser = 0,666%.

290	320	4,73	68,4	0,069
—	320	—	54,2	0,116
320	320	6,47	55,8	0,094
320	—	5,47	—	0,094

Tab. 21:

Zerstäubung von Extr. thym. comp. (Köln).
20 g auf 3 Liter dest. Wasser = 0,666%.

330	320	3,56	69,8	0,051
—	300	—	63,9	0,048
320	320	2,89	68,1	0,042

Bei der Zerstäubung von Siran bei — 70 KV Düsenspannung ist das Verhältnis negativer zu positiver Ladungsträger 15:1, was eine halb so starke Unipolarität bedeutet wie beim dest. Wasser. Die positiven Ionen steigen auf das 11fache, die negativen auf das 167fache des Wertes der Luft.

Wird Methylephedrinlösung bei derselben Düsenspannung zerstäubt, so zeigt sich hier eine sehr starke Unipolarität; das Verhältnis der negativen zu positiven Ladungen steigt auf 56 : 1, was einer ungefähr doppelt so starken Unipolarität des dest. Wassers entspricht. Die positiven Ionen betragen nur den 4fachen, die negativen aber den 250fachen Teil der Luft. Auch bei der Zerstäubung von Guajak.-sulfosaurer Salzlösung zeigt sich eine Unipolarität, die aber schwächer ist, als bei der Zerstäubung von Siran. Das Verhältnis der negativen zu positiven Ladungen beträgt nur 11:1. Die positiven Ionen wachsen auf den 17fachen, die negativen auf den 180fachen Betrag der Luft an. Bei der Zerstäubung Extr. thym. comp bei einer Düsenspannung von — 70 KV ist die Unipolarität doppelt so stark ausgeprägt wie bei der gleichprozentualen Lösung von Guajak. sulfos. Salz. Das Verhältnis ist hier 21:1. Die positiven Ladungsträger überwiegen die der Luft um das 10fache, die negativen um das 206fache.

In folgenden Messungen wurden noch einige Salzlösungen untersucht.

Tab. 22:

Zerstäubung von Fichtennadelsalzlösung (Köln).
1 Packung auf 1 Liter.

G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10⁻⁶ E. S. E. E_+	x10⁻⁶ E. S. E. E_-	q_E
320	300	3,07	52,7	0,058
—	320	—	49,25	0,061
—	320	—	47,9	0,061
—	320	—	51,5	0,061
320	—	(10,16) *	—	0,061

Tab. 23:

Zerstäubung von K Cl Lösung (Köln).
7,46% Normallösung.

320	330	(2,80) **	61,5	0,122
—	330	—	63,5	0,122
330	330	7,68	59,4	0,129
330	—	7,14	—	0,129

Tab. 24:

Zerstäubung von $K_2 SO_4$ Lösung (Köln).
17,43% Normallösung.

G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E. S. E. E_+	x10^{-6} E. S. E. E_-	q_E
330	320	2,55	55,25	0,046
—	330	—	51,5	0,072
330	330	5,26	55,3	0,095

Tab. 25:

Zerstäubung von K. Citratlösung (Köln).
30,60% Normallösung.

320	330	2,75	57,6	0,127
—	330	—	42,3	0,096
330	330	5,95	51,2	0,116
290	330	10,11	46,4	0,218

* Wert ist fraglich, da Isolation schlecht.

** Wert ist fraglich, da kurz nach dem Einsetzen der Zerstäubung gemessen.

w_g ist in allen Fällen 0,06 cm/sec f. 1 Volt/cem.

Wie schon das Fichtennadelöl eine sehr hohe Elektrisierung und vor allem starke Unipolarität aufweist, zeigt auch das Fichtennadelsalz bei der Zerstäubung der Lösung eine höhere Unipolarität als fast alle anderen Salze, ausgenommen das Methylephedrin, welches eine stärkere Unipolarität bei der Zerstäubung der Lösung zeigt, als das dest. Wasser. Der Wert q_E schwankt bei den Salzlösungen bei einer Düsenspannung von — 70 KV (bzw. — 100 KV) zwischen 0,02 und 0,52, wobei die häufigsten Werte bei 0,1 liegen. Bei dest. Wasser dagegen schwankte q_E zwischen 0,09 und nahezu 0. Die häufigsten Werte lagen hier bei 0,06 bei denselben Versuchsbedingungen wie bei der Zerstäubung von Salzlösungen.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Zerstäubung von dest. Wasser schon bei ungeladener Düse sehr fein war, aber nach Anlegen der Hochspannung noch viel feiner wurde. Auch die Elektrisierung war schon bei ungeladener Düse beträchtlich, doch konnte dabei keine Unipolarität festgestellt werden, trotzdem die negativen Ladungsträger die positiven etwas überwogen. Nach Anlegen von Hochspannung an die Kugeldyse änderte sich das Verhältnis der negativen zum positiven Ladungsträger sofort; es schwankte zwischen 30:1 und 2000:1, dabei war es ziemlich gleich, ob eine Spannung von —50 KV oder —100 KV an der Düse lag. Auch bei noch kleinerer Spannung

blieb das Verhältnis ziemlich konstant, nur war hier die Ionisierung in beiden Vorzeichen geringer. Wurde statt der negativen positive Hochspannung angelegt, so kehrten sich natürlich die Vorzeichen um. Das Verhältnis positiver zu negativer Ladungen schwankte etwa zwischen 10:1 und 1000:1, also eine weniger deutliche Unipolarität als bei negativer Düsenspannung. Die im allgemeinen stark schwankenden Werte beweisen, daß auf die künstliche Ionisierung sehr viele Faktoren der Versuchsanordnungen einwirken, wie Entfernung und Lage der Meßstelle von der Düse, Zeit der Zerstäubung und Wassermenge, Druck in der Düse und der Durchlaufgeschwindigkeit G. Zu letzterem ist zu sagen, daß die Werte für die Elektrisierung der Luft bei einem G von über 50 cm/sec bei Düsenspannung viel zu klein ausfallen und noch mit einem Faktor multipliziert werden müssen, der zwischen 3 und 30 liegt, ohne Düsenspannung aber nicht viel zu erhöhen sind. Das Verhältnis positiver zu negativer Ladungen ändert sich bei schwankenden Werten für G nicht beträchtlich. Das Abklingen der Ionisierung geht sehr schnell vor sich. In 7 Minuten nach dem Abstellen des Strahls und der negativen Düsenspannung sanken die negativen Ladungen auf 1/200 herunter. Ganz anders lagen die Verhältnisse bei der Zerstäubung von Salzlösungen. Bei ungeladener Düse war die Elektrisierung der Luft fast überall geringer als bei dest. Wasser; hier überwogen im Gegensatz zu dest. Wasser die positiven Ladungen. Wurde eine Kochsalzlösung bei negativer Düsenspannung zerstäubt, so trat zwar eine erhebliche Vermehrung der negativen Ladungsträger ein, doch war sie geringer als bei dest. Wasser, gleichzeitig nahmen aber auch die positiven Ladungen zu. Dieselben Verhältnisse treten auch bei der physiologischen Kochsalzlösung, bei der Normallösung und beim Glaubersalz auf. Die Unipolarität ist hierbei nicht so gut ausgeprägt wie beim dest. Wasser. Auch bei positiver Düsenspannung nehmen zwar die positiven Ladungen beträchtlich zu (nicht so stark wie beim dest. Wasser), doch wachsen auch die negativen an und die Unipolarität ist deswegen geringer als beim reinen Wasser. Beim Zerstäuben von Wiesbadener Kochbrunnen, der mit der physiologischen Kochsalzlösung verglichen wurde, traten bei ungeladener Düse bei den positiven Ladungen höhere Werte auf, bei negativ geladener Düse eine größere negative Unipolarität. Auch Öle, Säuren und ähnliche Lösungen zeigen im allgemeinen eine schwächere Elektrisierung und auch Unipolarität bei der Zerstäubung unter Düsenspannung als dest. Wasser; deswegen habe ich auch, als ich an die praktische Anwendung des Effektes der künstlichen Ionisierung heranging ,das dest. Wasser als Zerstäubungsmittel beibehalten.

6. Trocknungsversuche.

Geführt wurde ich auf diese Versuche durch eine einfache Beobachtungstatsache, die bei fast allen Versuchen auftrat, sei es bei der Zerstäubung von Salzen, die im Wasser gelöst waren, oder auch bei der Zerstäubung von Brunnenwasser oder dest. Wasser selber. Wurden die Lösungen aus spannungsloser Düse zerstäubt, so trat bald eine starke Nebelbildung ein. Auf Gegenständen, die sich im selben Raum befanden, setzte sich ein Niederschlag von Wasser und Salzen ab, die Isolationen der Apparatur wurden immer schlechter, es wurde alles feucht. Das änderte sich aber mit einem Schlag, wenn die Düse unter Spannung gesetzt wurde. Nebelbildung war bei der Zerstäubung von dest. Wasser nur dicht an der Düse zu bemerken, das kondensierte Wasser an den einzelnen Gegenständen verdunstete rascher als gewöhnlich, so, als wenn der Raum plötzlich um mehrere Grad Celsius erwärmt worden wäre. Ähnliches zeigte sich bei der Zerstäubung von Salzlösungen, wo ein Dunst auftrat, herrührend wohl von den in der Luft schwebenden feinsten Salzpartikelchen. In einiger Entfernung von der Düse setzte sich wieder ein weißer Niederschlag an den Gegenständen ab, nur daß dieser Niederschlag jetzt fast so trocken wie Staub war. Von der Beobachtung der schnelleren Trocknung ausgehend, versuchte ich nun mit Hilfe der Barthel'schen Apparatur, also der Zerstäubung von dest. Wasser unter Spannung an der Düse, die Trockenwirkung an verschiedenen Stoffen zu ermitteln. Zu diesem Zweck konstruierte ich mit Hilfe des Herrn Dipl.-Ing. H. Isler sowie Herrn Barthels und Herrn Pferdmenges eine Trocknungsanlage, die in Giesenkirchen in einem Maschinensaal der dortigen Spinnerei der Firma Pferdmenges & Scharmann zur Aufstellung kam. Hier wurden dann auch alle folgenden Versuche in der Zeit vom Februar bis Juli 1938 von mir durchgeführt.

Versuchsanordnung (Fig. 2):

Ein 1 cbm fassender verleimter Holzkasten von gleichen Kantenlängen, der jeglicher Metallteile entbehrte, wurde auf einen etwa 70 cm hohen Pertinaxzylinder (als Isolierung) gestellt. An der Vorderseite war eine etwa 50 × 40 cm große Öffnung, durch die das betreffende Trockengut und die nötigen Instrumente in das Innere gebracht wurden und die mit einer Klappe und Gummidichtung fest verschlossen werden konnte. Auf der einen Seite befand sich unten eine kreisrunde Öffnung von etwa 30 cm Durchmesser, in die ein entsprechend großer und etwa 60 cm langer an beiden Seiten offener

Hohlzylinder aus Vulkanfiber einmündete. Vor diesem offenen Hohlzylinder war in etwa 50 cm Entfernung die Barthel'sche Kugeldüse angebracht, die in den Hohlzylinder dest. Wasser zerstäubte. Etwas seitlich hinter der Kugeldüse war der Barthel'sche Anemostat *) aufgehängt, der die Luft in der Umgebung der Eintrittsöffnung des Vulkanfiberzylinders elektrisch auflud und der auf das gleiche Potential gebracht werden konnte wie die Kugeldüse. Auf der gegenüberliegenden Seite des Holzkastens waren oben 3, etwa 4 cm im Durchmesser, große Öffnungen mit entsprechenden Stutzen angebracht, durch welche die Luft aus dem Kasten durch 3 Ventilatoren abgesaugt wurde (1 Ventilator saugte 104 cbm Luft pro Stunde ab). Durch ein Glasfenster, das unter diesen Öffnungen eingelassen war, konnten das Innere des Kastens sowie die Instrumente (Thermo- und Hygrograph) beobachtet und abgelesen werden. Durch die Oberseite des Kastens führte durch eine ganz kleine zentral angebrachte Öffnung eine Seidenkordel, an der im Kasten ein Gestell aus Isolationsstäben hing, in welches die zu trocknenden Bretter gestellt wurden. Die Kordel war außerhalb des Kastens an einem Waagearm befestigt; so konnte während des Versuches ohne Veränderung der Versuchsbedingungen fortlaufend die Gewichtsabnahme auf 1 g genau beobachtet werden.

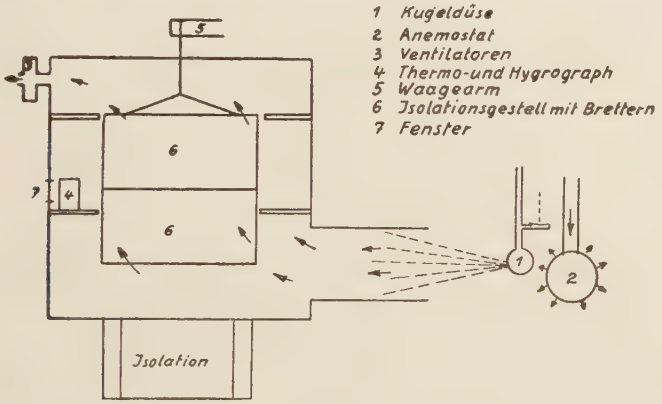


Fig. 2.

Vorversuch:
Messung der Ladungsträger innerhalb des Versuchskastens bei der Zerstäubung von dest. Wasser unter verschiedener Spannung mit dem Ebert'schen Ionenzähler.

* Genaue Beschreibung des Anemostats unter „Messungen mit Anemostaten".

1) Ohne Wasserzerstäubung und ohne Anemostat in gewöhnlicher Raumluft ergab für E_+ = 0,28 × 10^{-6} E.S.E. und E_- = 0,27 × 10^{-6} E.S.E. bei einem G von ungefähr 300 cm sec, q_E = 1,06.

2) Ohne Wasserzerstäubung mit Anemostat, durch welchen 208 cbm Luft pro Stunde geblasen wurde und der eine Spannung von — 60 KV hatte. Aus dem Kasten wurden 104 cbm Luft pro Stunde abgesaugt. Es ergab für E_+ = 0,44 × 10^{-6} E.S.E., E_- = 0,92 × 10^{-6} E.S.E., q_E = 0,48. — Eine zweite Messung ergab für E_+ = 0,36 × 10^{-6} E.S.E., E_- = 0,92 × 10^{-6} E.S.E., q_E = 0,39.

3) Ohne Wasserzerstäubung bei auf — 60 KV aufgeladenem Anemostat ohne Luftzufuhr. Aus dem Kasten wurden wieder 104 cbm Luft Stunde abgesaugt. E_+ = 0,41 × 10^{-6} E.S.E., E_- = 0,53 × 10^{-6} E.S.E., q_E = 0,78. — Bei auf — 60 KV aufgeladenem Anemostat, durch den 208 cbm Luft Stunde geschickt wurden und bei einer abgesaugten Luftmenge aus dem Kasten von 104 cbm Stunde (s. 2) betrug die Ionisierung im Kasten das 2,4fache der ruhenden Luft (s. 1).

4) Die Kugeldüse und der Anemostat hatten eine Spannung von — 70 KV. Wasser wurde nicht zerstäubt, wohl aber Luft aus der Düse unter 3 Atü. Der Anemostat hatte eine Luftbeschickung von 208 cbm Stunde. Aus dem Kasen wurden 104 cbm Luft pro Stunde abgesaugt.

E_+ = 4,3 × 10^{-6} E.S.E., E_- = 14,5 × 10^{-6} E.S.E., q_E = 0,3.

5a) Der Anemostat und die Düse hatte eine Spannung von — 70 KV, aus der Düse wurde Brunnenwasser unter 3 Atü zerstäubt. Durch den Anemostat wurden 208 cbm Luft Stunde geschickt. Aus dem Kasten wurden 208 cbm Luft pro Stunde abgesaugt.

E_+ = 37,1 × 10^{-6} E.S.E., E_- = 165,9 × 10^{-6} E.S.E., q_E = 0,22.

5b) Dieselbe Versuchsanordnung, nur daß jetzt dest. Wasser zerstäubt wurde.

E_+ = 32,6 × 10^{-6} E.S.E., E_- = 171,0 × 10^{-6} E.S.E., q_E = 0,19.

Aus den letzten beiden Versuchen ist zu ersehen, daß bei der Zerstäubung von dest. Wasser eine bessere Unipolarität auftritt als bei der Zerstäubung von Brunnenwasser.

6a) Der Anemostat und die Düse hatte eine Spannung von — 90 KV, die Düse zerstäubte Brunnenwasser. Der Anemostat verteilte wieder 208 cbm Luft pro Stunde; aus dem Kasten wurden 208 cbm Luft pro Stunde abgesaugt.

E_+ = 186,4 × 10^{-6} E.S.E., E_- = 32,2 × 10^{-6} E.S.E., q_E = 5,8.

6b) Dieselbe Versuchsanordnung, nur daß jetzt dest. Wasser zerstäubt wurde.

$E_- = 79{,}1 \nearrow 10^{-6}$ E.S.E., $E_+ = 5{,}6 \nearrow 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 14{,}1$.

Auch hier ist wieder eine bessere Unipolarität bei der Zerstäubung von dest. Wasser festzustellen. Im Brunnenwasser sind sicher verschiedene chemische Substanzen gelöst, die dann bei der Zerstäubung ungünstig auf die Unipolarität einwirken. Da die positive wie auch die negative Elektrisierung der Luft bei der Zerstäubung von Brunnenwasser hier höher liegt, als bei der Zerstäubung von dest. Wasser, ist anzunehmen, daß die gelösten Substanzen im Brunnenwasser bei der Zerstäubung unter positiver Düsenspannung diesen Effekt veranlassen, im Gegensatz zu negativer Düsenspannung, wo die Elektrisierung ungefähr die gleiche war.

7) Es wurde nur der Anemostat auf − 90 KV aufgeladen. Die Düse zerstäubt kein Wasser. Durch den Anemostat wurden 208 cbm Luft pro Stunde geblasen; abgesaugt aus dem Kasten wurden 208 cbm Luft pro Stunde.

$E_- = 0{,}75 \nearrow 10^{-6}$ E.S.E., $E_+ = 0{,}56 \nearrow 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 1{,}34$.

Die stärkste positive Unipolarität trat also bei 6b) ein, wo q_E auf das 13fache des Wertes für ruhende Luft anwuchs, die stärkste negative bei 5b), wo die Ionisierung im Kasten den 5,6fachen Wert der Luft erreichte.

6a) Holztrocknung.

Für die folgenden Versuche wurde der schon vorher beschriebene Versuchskasten benutzt, jedoch zeigte es sich im Verlauf weiterer Versuche, daß diese Apparatur nicht ganz ausreichte. Es wurde eine zweite Hochspannungsanlage aufgestellt, die es ermöglichte, das Trokkengut mit einer gegensätzlichen Spannung zur Düse aufzuladen. Ferner konnte das Trockengut geerdet werden. Als Trockengut kamen ungefähr 60 cm lange gehobelte und auch ungehobelte Bretter, lufttrocken oder vorher mit Wasser getränkt zur Verwendung. Alle halbe Stunde wurde die Gewichtsabnahme, die Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Kasten gemessen. Die Mittelwerte für einen Versuch aus den halbstündigen Messungen zeigt Tab. 26. Hatte der Anemostat eine Spannung, so wurden 208 cbm Luft pro Stunde durchgeblasen. Die Düse zerstäubte unter 3 Atmosphären Überdruck dest. Wasser. Bei allen Versuchen schwankte das Gewicht des gesamten Trockenguts

Versuch	Anemostat-aufladung KV	Kugeldüse		Trockengut		Mittel-temperatur °C	mittlere relative Feuchtigkeit %
		KV	Zerstäubung	Aufladung KV	Beschaffenheit		
1	0	—	—	—	naß, ungehobelt	15	80
2 a	— 60	—	—	—		(19)	(47)
2 b	0	—	—	—		(20)	(45)
3 a	— 70	— 70	destilliertes Wasser	—		16	82
3 b	0	0	„ „	—		14	87
3 c	0	0	—	—		15	58
4 a	+ 90	+ 90	destilliertes Wasser	—	vom vorherg. Vers.	15	83
4 b	+ 90	+ 90	—	—		19	52
4 c	+ 90	+ 90	wenig destill. Wasser	—		19	52
4 d	— 65	— 65	—	—		18	53
5 a	0	0	—	—		19	53
5 b	— 65	— 65	wenig destill. Wasser	geerdet		17	60
5 c	+ 90	+ 90	„ „ „	„		18	59
6 a	+ 90	+ 90	destilliertes Wasser	geerdet	lufttrocken, gehobelt	19	51
6 b	0	0	—	„	neu, trocken, gehobelt	19	57
7 a	+ 75	+ 75	destilliertes Wasser	+ 75		21	44
7 b	+ 75	+ 75	—	+ 75		20	39
7 c	0	0	—	0		19	41
7 d	+ 75	+ 75	—	+ 75		19	43
7 e	0	0	—	0	neu, trocken, gehobelt	19	41
8 a	0	0	—	— 70		20	34
8 b	0	0	—	0		21	35
8 c	0	0	—	— 70		21	35
9 a	+ 90	+ 90	—	— 40		20	56
9 b	0	0	—	0		20	57
9 c	+ 90	+ 90	destilliertes Wasser	— 40	neu, trocken, ungeh.	20	60
9 d	+ 90	+ 90	—	— 40		20	56
10 a		+ 70	—	—		39	25
10 b		0	—	—		45	18
10 c		+ 70	destilliertes Wasser	—	lufttrocken, ungeh.	44	22
10 d		— 58	—	—		43	21
10 e		0	—	—		43	21
11 a		0	—	+ 45		43	44
11 b		0	—	+ 45		45	24
11 c		0	—	0		45	24
11 d		0	—	0		47	23
11 e	in allen	0	—	— 45		46	22
12 a	folgenden	0	—	0		37	29
12 b	Versuchen	+ 90	—	— 65		46	25
13 a	fortgelassen	+ 75	—	— 65		41	26
13 b		0	—	0		44	24
14 a		0	—	0	lufttrocken, gehobelt, neu	44	23
14 b		0	—	— 65		39	24
14 c		0	—	0		36	25
14 d		0	—	— 65		39	24
15 a		0	—	0		30	34
15 b		+ 75	—	+ 65		30	31
16 a		+ 65	—	0		25	48
16 b		0	—	0			48
17 a		0	—	0			34
17 b		— 55	—	— 65		3	32

mittlere Gewichtsabnahme g/Std.	Versuchsdauer Std.	Bemerkungen
44	8,5	104 cbm Luft/Std. werden abgesaugt, Außentemp. 18° u. Feuchte 45%
79	4	104 cbm Luft/Std. werden abgesaugt, Hygro- u. Thermograph außerhalb
67	2	" " " " " " " "
27	2,5	" " " " " " " im Kasten
0	0,25	" " " " " " " "
18 g in 0,5 Std.	0,5	rel. Feuchte Maximum 96% u. 13° C " " " " Hygro- u. Thermograph im Kasten,
20	2	
68	2	
45	1	
43	1	
55	1,5	wie auch in allen folgenden Versuchen
60	2	
56	2	
24	2,5	
24	6	
15	1,5	
20	1	
12	1	
13	1,5	
13	1,5	
15	1,5	208 cbm Luft/Std. werden abgesaugt. Versuchskasten geöffnet
7	1	
15	1	
16	3,5	
13	1,5	
6	1	
17	1	
59	1,5	
46	1,5	
28	1	104 cbm Luft/Std. werden abgesaugt. Kasten geschlossen, 2 Föhn
28	1,5	
12 g in 0,5 Std.	0,5	
23	1,5	wie bei Versuch 10, mit Dampfbeigabe
47	1,5	" ohne Dampfbeigabe
31	1,0	" " "
15	1,0	" " "
20	1,0	" " "
83	1	" — —
90	1	" — —
35	3,5	" es wurde immer abwechselnd eine Stunde mit und
34	4,5	" eine Stunde ohne Spannung gemessen
70	1	
80	1	
32	1	
44	1,5	wie bei Versuch 13, 208 cbm Luft/Std. werden abgesaugt
42	4	
47	4	
17	2,5	wie bei Versuch 14, 1 Föhn
14	2	wie bei Versuch 14, 1 Föhn
39	4	wie bei Versuch 14, 2 Föhn
37	4	wie bei Versuch 14, 2 Föhn

zwischen 11 und 13 kg. Für vergleichbare Versuche hatte aber das Trockengut das gleiche Gewicht.

(Tab. 26 auf S. 34 und 35 dieser Arbeit).

Vergleicht man Versuch 1) mit 2a), so erkennt man bei 2a) im Mittel eine Mehrabnahme des Gewichtes von 35 gr pro Stunde, bezogen auf die ersten 4 Stunden der Trocknung; das bedeutet 84 v. H. Mehrabnahme. Trotzdem das Holz also schon im ersten Versuch 8,5 Stunden vorgetrocknet war und hier mit einer größeren Abnahme gerechnet werden mußte, trat bei der Fortsetzung der Trocknung desselben Holzes bei Versuch 2a) die Mehrabnahme auf. Der Versuchskasten und das Trockengut war etwas aufgeladen, was mit Hilfe eines Goldblättchen-Elektroskops festgestellt wurde. Auch beim Vergleich von 2a) und 2b) zeigt sich eine Mehrabnahme von 12 g pro Stunde (12 v. H.), wenn der Anemostat auf — 70 KV aufgeladen war. Diese beiden Versuche sind gut zu vergleichen, da abwechselnd eine Stunde mit Spannung und eine Stunde ohne Spannung am Anemostat getrocknet wurde.

3a, b, c) stellt einen Vorversuch dar, bei dem zum ersten Male während der Trocknung dest. Wasser ohne und mit Spannung unter 3 Atü zerstäubt wurde. Trotz der Wasserzerstäubung bei — 70 KV und der verhältnismäßig hohen relativen Feuchtigkeit trat eine Trocknung von 27 g pro Stunde im Mittel ein, die vielleicht einer Trocknung in gewöhnlicher Luft entspricht. Versuch 3c) kann zum Vergleich nicht herangezogen werden, da das Holz vom kurz vorhergehenden Versuch (3b) außen vollständig naß war und somit eine stärkere Trocknung als gewöhnlich eintrat. Bei 3b) wurde dieselbe Menge dest. Wassers zerstäubt wie bei 3a), trotzdem fand keine Trocknung statt, sondern eher eine Gewichtszunahme. Das beweist aber, daß im Versuch 3a die feinen künstlich aufgeladenen Wassertröpfchen, wie auch die aufgeladene Luft eine Trockenwirkung haben. Wurde das dest. Wasser unter — 70 KV zerstäubt, war das Eintrittsrohr wie auch der Innenraum (Fig. 2) vollständig trocken. Der Kasten hatte sich stark elektrisch aufgeladen, so daß man aus den Ecken des doch nur aus Holz bestehenden Kastens 3 mm lange Funken beobachten konnte, wenn die Erdleitung in die Nähe gebracht wurde. Die Verhältnisse änderten sich sofort, als die Zerstäubung derselben Menge Wasser ohne Düsenspannung vorgenommen wurde. Innerhalb weniger Minuten war das Eintrittsrohr so naß, daß das Wasser zur Erde tropfte. Der ganze Versuchskasten war am Boden mit feinen Wassertropfen bedeckt, wie auch das Trockengut außen sehr feucht

wurde. Die relative Feuchtigkeit im Kasten stieg ruckartig von 79% auf über 90%, um kurz vor der Unterbrechung des Versuches, also nur nach 15 Minuten Versuchsdauer, 96% zu erreichen. Später wiederholte ich denselben Versuch, bei dem die gleiche Erscheinung auftrat. Wie erklären sich diese Erscheinungen? Ich möchte hier mit einer Vermutung antworten, die mit den bisherigen Beobachtungen und Erkenntnissen nicht im Widerspruch steht. Bekannt ist, daß beim Zerstäuben von dest. Wasser unter einer unipolaren Düsenspannung die zerstäubten Tröpfchen außerordentlich klein werden, je kleiner um so höher die Düsenspannung ist (Untersuchungen in Potsdam). Diese Tröpfchen bleiben also lange Zeit in der Schwebe erhalten, können auch nicht zusammenfließen, da sie gleichnamige Ladungen besitzen. Durch den Luftstrom, der vom Absaugeventilator erzeugt wurde, werden sie an dem Trockengut vorbei wieder heraustransportiert und lassen sich außen noch meßbar nachweisen, wenn auch in viel geringerer Anzahl. Da der Kasten isoliert aufgestellt war, wird er bald im selben Vorzeichen wie die feinen Tröpfchen aufgeladen sein, so auch das Trockengut, und seinerseits abstoßend wirken. Die Aufladung des Kastens erfolgte sicher von den unipolar geladenen Wassertröpfchen und Luftionen, die im Anfang ihre Ladung so lange abgeben, bis der Kasten aufgeladen ist. So wird das Niederschlagen der weiteren Tröpfchen verhindert. Anders ist es, wenn dest. Wasser ohne Düsenspannung zerstäubt wird. Hier bilden sich so große Tröpfchen, daß sie schon allein durch ihre Schwere zu Boden fallen. Der Kasten zeigte dabei keine Aufladung. Die Ladungen sind nicht mehr einheitlich und begünstigen ein Zusammenfließen der Tröpfchen, so daß die Tröpfchen schnell anwachsen. Wie der Versuch ergeben hatte, nimmt die Temperatur im Kasten auf 14,0 Grad Celsius ab, bei einer herrschenden Zimmertemperatur von 15,3° C und die relative Feuchtigkeit stieg ruckartig von 79% auf über 90% an, das bedeutet, daß eine starke Verdunstung der niedergeschlagenen wie auch in der Luft befindlichen Tröpfchen einsetzt. Dabei wird die latente Verdampfungswärme verbraucht. Damit wären die äußeren Erscheinungen erklärt, nicht aber die schnellere Trocknung.

Versuch 4a, b, c, d):

Bei 90 KV Spannung an der Düse und Zerstäubung von dest. Wasser zeigte der Kasten und das Trockengut eine starke Aufladung. Wurde dagegen kein Wasser, sondern Luft unter + 90 KV Düsenspannung zerstäubt, zeigte der Kasten und das Trockengut keine Aufladung. Bei — 65 KV an der Düse unter Luftzerstäubung wurde

der Kasten und das Trockengut schwach aufgeladen. Bei Zerstäubung von dest. Wasser bei unter — 60 KV Düsenspannung konnte dieselbe starke Aufladung des Kastens festgestellt werden wie bei der Zerstäubung von dest. Wasser unter + 90 KV. Die stärkste Gewichtsabnahme zeigte sich bei Versuch 4b, wo die Kugeldüse + 90 KV-Spannung hatte, aber kein dest. Wasser zerstäubt wurde; die relative Feuchtigkeit betrug dabei 52%. Bei wenig Wasserzerstäubung änderte sich die relative Feuchtigkeit im Versuchskasten nicht.

Versuch 5a, b, c):

Trotz höherer relativer Feuchtigkeit und geringerer Temperatur war die Gewichtsabnahme bei 5b) und 5c) größer als bei 5a), wo das Holz der gewöhnlichen Luft zum Trocknen ausgesetzt war. Die stärkste Abnahme war bei einer Düsenspannung von .60 KV festzustellen.

Versuch 6a, b):

Bei beiden Versuchen war die gleiche Gewichtsabnahme festzustellen, obwohl bei dem Versuch 6a) mit + 90 KV Düsenspannung die relative Feuchtigkeit um 6% geringer war. Hierbei trat deutlich in Erscheinung, daß trotz Wasserzerstäubung unter + 90 KV Spannung die Feuchtigkeit im Versuchskasten geringer war als ohne Wasserzerstäubung, worauf ich schon vorher hingewiesen habe.

Versuch 7a, b, c, d, e):

Die größte Gewichtsabnahme trat bei 7b) auf, wo die Düse und das Trockengut auf + 75 KV aufgeladen war, die Abnahme war um ungefähr 50% größer als bei dem unmittelbar darauf folgenden Versuch ohne Spannung. Bei Versuch 7d) und 7c) trat nur insofern ein Unterschied auf, als bei gleicher Gewichtsabnahme bei dem Kontrollversuch ohne Spannung die Temperatur etwas höher und die Feuchtigkeit etwas geringer war gegenüber dem Versuch mit + 75 KV Spannung an Düse und Trockengut.

Versuch 8a, b, c):

Deutlich war hier zu erkennen, daß bei bloßer Aufladung des Trockenguts die Gewichtsabnahme ungefähr doppelt so groß war als beim unaufgeladenen Trockengut. Beim Zerstäuben von gewöhnlichem Brunnenwasser ergaben sich dieselben Verhältnisse.

Versuch 9a, b, c, d):

Wurde das Trockengut auf — 40 KV aufgeladen, die Düse aber auf + 90 KV Spannung und kein Wasser zerstäubt, so betrug die Abnahme einmal 16 g pro Stunde, das andere Mal (Versuch 9d) 17 g

gegen eine Abnahme von 13 g pro Stunde ohne Spannung am Trockengut und Düse. Wurde dest. Wasser zerstäubt, so traten wesentlich ungünstigere Verhältnisse ein; hier betrug die Abnahme nur 6 g pro Stunde.

Versuch 10a, b, c, d, e):

Auch bei erhitzter Luft traten dieselben Unterschiede in der Trocknung ein. Bei + 70 KV Düsenspannung betrug die Abnahme 59 g pro Stunde. Bei ungeladener Düse aber nur 46 g, obwohl bei der Düsenspannung die Temperatur im Mittel um ungefähr 6° C niedriger lag. Wurde dest. Wasser zerstäubt, so lagen auch hier die Trocknungsergebnisse wesentlich ungünstiger; die Abnahme betrug nur 28 g pro Stunde. Versuch 10d) und 10e) zeigten dieselben Verhältnisse, eine stärkere Abnahme bei negativer Düsenspannung.

Versuch 11a, b, c):

Hierbei war die Versuchsanordnung geändert worden, indem zusätzlich aus einer ungeladenen Düse überhitzter Dampf in geringer Menge in den Versuchskasten an der geladenen Kugeldüse vorbeigeblasen wurde. Dabei stieg die relative Feuchtigkeit auf den doppelten Betrag wie ohne Dampfbeigabe und die Trocknung war wesentlich schlechter als bei ungeladener Düse ohne Dampfzufuhr. Bei bloßer Düsenspannung (Versuch 11d) trat der stärkste Trocknungseffekt ein. Ein weiterer Versuch, wobei vor Beginn der Messung immer während der Zeit von 3 Minuten Dampf beigegeben wurde, zeigte, daß bei — 45 KV Spannung auf dem Trockengut die Gewichtsabnahme 23 g pro Stunde betrug, bei einer Temperatur von 46,1° C und einer relativen Feuchtigkeit von 25,8%. Wurde derselbe Versuch durchgeführt, nur daß jetzt das Trockengut nicht aufgeladen war, betrug die Gewichtsabnahme 20 g pro Stunde bei 43,9° C und 27,5% relativer Feuchtigkeit. Mit Spannung von _45 KV am Trokkengut, aber ohne Dampfbeigabe, betrug die Abnahme auch nur 20 g pro Stunde bei einer Temperatur von 46,2° C und einer relativen Feuchtigkeit von 22%. Ohne Spannung und ohne Dampf war die Gewichtsabnahme 15 g pro Stunde bei 47° C und 23% relativer Feuchtigkeit. Es zeigte sich bei diesen Versuchen, daß bei Dampfbeigabe von 3 Minuten und einer Spannung von — 45 KV am Trockengut die stärkste Gewichtsabnahme zu verzeichnen war. Bemerkenswert ist hierbei die Tatsache, daß die Trocknung so weit vorgetrieben war, daß in den nächsten 12 Stunden das Holz im trocknen, warmen Raum eine Gewichtszunahme von 30 g erfuhr.

Versuch 11d, e) zeigten gegenüber unaufgeladenem Trockengut wieder eine Mehrabnahme bei — 45 KV Spannung am Trockengut.

Versuch 12a, b):

Hier war auch eine Mehrabnahme bei aufgeladener Düse (+ 90 KV) und aufgeladenem Trockengut (— 65 KV) festzustellen, doch dabei in Betracht zu ziehen, daß auch die Temperatur höher und die relative Feuchtigkeit niedriger lag als bei ungeladener Düse und unaufgeladenem Trockengut, so daß dadurch vielleicht ein Ausgleich geschaffen war.
Einen besseren Vergleich bietet Versuch 13a, b). Hier war selbst bei niedrigerer Temperatur und höherer relativer Feuchtigkeit die Gewichtsabnahme bei Spannung an der Düse (+ 75 KV) und Trockengut (— 65 KV) etwas größer als ohne Spannung.

Versuch 14a, b):

Hatte das Trockengut eine Spannung von — 65 KV, so war hier trotz 4° C geringerer Temperatur eine deutliche Mehrabnahme festzustellen gegenüber dem unaufgeladenen Trockengut.

Versuch 14c, d):

Auch bei diesem Versuch war eine Mehrabnahme zu verzeichnen, die prozentual größer ist als bei Versuch 14a) und 14b), doch war hier wohl die um 3° C höhere Temperatur bei aufgeladenem Trockengut (— 65 KV) für die Mehrabnahme ausschlaggebend.

Versuch 15a, b):

Wenn das Trockengut (+ 65 KV) und die Düse (+ 75 KV) positive Spannung aufwies, zeigte sich auch hier wieder eine stärkere Gewichtsabnahme als ohne jegliche Spannung.

Versuch 16a, b):

Hier ist auch wieder eine Mehrabnahme festzustellen, wenn die Düse unter Spannungen gesetzt war (+ 65 KV). Bei Fortsetzung der Trocknung ging die Gewichtsabnahme schließlich auf Null herunter, deswegen wurde die Versuchsanordnung gewählt, die den bisher größten Trockeneffekt gezeigt hatte. Dasselbe Trockengut wurde auf — 65 KV aufgeladen, 208 cbm Luft wurden in der Stunde abgesaugt und ein Föhnventilator erwärmte die Luft im Kasten. Sofort stellte sich eine Gewichtsabnahme ein, die 8 g pro 0,5 Stunden betrug und die nur ganz im Anfang des kurz vorhergehenden Versuches (16a) mit 12 g/0,5 Std. überboten wurde.

Versuch 17a, b):

Dabei wurde das Trockengut und die Düse auf eine negative Aufladung gebracht, es zeigte sich die größte Gewichtsabnahme im ungeladenen Zustand.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß der stärkste Trocknungseffekt bei negativer Spannung am Trockengut festzustellen ist, daß aber auch die künstlich ionisierte Luft eine stärkere Trockenwirkung zur Folge hat, als gewöhnliche Raumluft. Bei der Zerstäubung von dest. Wasser unter Düsenspannung ist die Trockenwirkung klein, wogegen bei der künstlichen Ionisierung der Luft durch Zerstäubung von Luft unter Düsenspannung die Trockenwirkung groß ist.

6b) Bleichetrocknung.

Unter Bleichewickel ist ein gewundenes Rohstoffband zu verstehen, welches eine Zwischenstufe in der Entwicklung zum fertigen Garn während des Spinnvorganges darstellt. Der Wickel hat etwa einen Durchmesser von 50 cm und eine Höhe von 40 cm und wird, nachdem er in Chlorlauge gebleicht worden ist, durch eine Zentrifuge seines überschüssigen Wassers entledigt. Um die übriggebliebene Feuchtigkeit zu entfernen, werden anschließend die Wickel in Trichter gelegt, welche der Wickelform angepaßt sind, und welche auf ca. 70° erhitzte Luft durch die Wickel hindurchsaugen. Meine Aufgabe war es, eine andere und schnellere Trocknung zu erproben.
Für die Trocknung wurde an Stelle des für die Holztrocknung verwandten Gestells aus Isolationsstäben ein aus Bandeisen konstruiertes Gestell benutzt (Fig. 3), auf welches die Bleichewickel heraufgestülpt wurden, so, daß sich die 4 Spitzen 10 cm vom Außenrand des Bleichewickels befanden. Das Gestell war isolierend an einem Ende des Waagearmes aufgehängt. Die andere Apparatur war dieselbe wie bei der Holztrocknung.

Beim ersten Versuch hatte der Bleichewickel im feuchten Zustand ein Gewicht von 4067 g. 208 cbm Luft wurden aus dem Versuchskasten abgesaugt, zwei Föhnventilatoren erwärmten die Luft im Kasten auf 32° C bei einer relativen Feuchtigkeit von 25%. In den ersten 4 Stunden der Trocknung nahm das Gewicht im Mittel pro Stunde um 50 g ab.
Beim zweiten Versuch hatte die Düse eine Spannung von — 70 KV und zerstäubte Luft, das Trockengut war nicht aufgeladen, sonst

bestand dieselbe Versuchsanordnung wie beim Versuch 1. Der Bleichewickel wog im feuchten Zustand 4031 g. Innerhalb der ersten 4 Stunden betrug die Gewichtsabnahme im Mittel/Stunde 56 g bei 31° C und einer relativen Feuchtigkeit von 25%. Es ist also auch hier in künstlich ionisierter Luft eine Mehrabnahme im Mittel von 6 g pro Stunde gegenüber unaufgeladener Düse festzustellen. Die Versuchsanordnung entsprach aber nicht der gestellten Bedingung der vollständigen Trocknung des Bleichewickels, so daß die Versuchsanordnung geändert werden mußte. Aus Fig. 3 ist zu ersehen, daß von der unmittelbaren Wägung abgesehen werden mußte, um eine bessere Luftführung zu gestatten. Der Versuchskasten war bis auf den An- und Absaugkanal vollständig geschlossen. Die Kugeldüse fand dabei keine

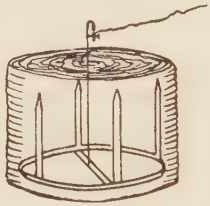


Fig. 3.

Verwendung. Im Ansaugkanal, einem Eisenrohr, befanden sich 6 elektrische Heizkörper, die es gestatteten, die Innentemperatur auf + 90° C zu erhöhen. Eine Zinkblechwanne nahm den feuchten Bleichewickel auf und war gegen den Kasten isoliert. An den Boden der trichterförmig sich nach unten verjüngenden Wanne schloß sich der Absaugkanal an, in dem sich am Ende 3 Ventilatoren befanden, die pro Stunde ungefähr 125 cbm Luft aus dem Kasten durch den fest in die Wanne gepreßten Bleichewickel absaugten. Oben im Kasten befand sich die Zuführung der Hochspannung an die Zinkwanne. So wurde eine vollständige Trocknung der Bleichewickel innerhalb von ungefähr 3 Stunden erreicht. Nach jeder Stunde wurde der Versuch für 3 Minuten unterbrochen, um den Bleichewickel zu wiegen. Während der letzten Stunde der Trocknung wurde der Versuch öfter unterbrochen, um den Zeitpunkt, an dem keine Gewichtsabnahme mehr eintrat, genau festzustellen, der Bleichewickel also vollständig ausgetrocknet war, entsprechend der hohen Temperatur im Versuchskasten.

In folgender Tabelle ist in der ersten Spalte das Gewicht des feuchten Bleichewickels, in der zweiten ob mit oder ohne Spannung

getrocknet wurde, in der dritten und vierten die Mitteltemperatur und mittlere relative Feuchtigkeit und in der fünften die Gewichtsabnahme aufgezeigt. Die 6. Spalte bringt die mittlere Gewichtsabnahme pro Stunde, die 7. Spalte die Zeitdauer bis zur vollständigen Trocknung.

Tab. 27:

Bleichewickeltrocknung.

Versuch	Anfangsgewicht gr	Spannung KV	Temperatur °C	relat. Feuchtigkeit	Gesamtabnahme gr	Abnahme pro Stunde	Zeitdauer
1 a	3.380	—75	81	3	1.465	586	2,5 Std.
1 b	3.352	0	81	3	1.361	545	2,5 „
2 a	3.754	0	67	2	1.682	480	3,5 „
2 b	3.665	—75	66	2	1.401	400	3,5 „
3 a	3.410	0	82	—	1.390	795	105 min.
3 b	3.400	—75	77	—	1.393	697	120 „
4 a	3.745	+80	72	—	1.564	782	120 „
4 b	3.740	0	74	—	1.490	497	180 „

Bei Versuch 2 a und 2 b wurden 42 cbm Luft pro Stunde abgesaugt. Von Versuch 3 a ab wurden ungefähr 125 cbm Luft pro Stunde abgesaugt.

Aus den ersten beiden Versuchen ist zu ersehen, daß der nassere Bleichewickel unter — 75 KV Spannung in derselben Zeit getrocknet wurde wie der weniger nasse Wickel ohne Spannung. Bei weniger Luftwechsel kehren sich die Verhältnisse in Versuch 2a) und 2b) um. Daß die Temperatur sehr ausschlaggebend ist, beweist Versuch 3a) und 3b, wo die Trocknung ohne Spannung um 15 Minuten eher beendet ist bei um 5° C höherer Temperatur als mit — 75 KV Spannung an dem Trockengut. Versuch 4a) und 4b) zeigt sehr deutlich, daß bei positiver Aufladung des Trockenguts die Trockenzeit um 1 Stunde geringer ist, obwohl die Feuchtigkeit des Wickels um 74 g höher lag als ohne Spannung.

Auch diese Versuche beweisen also wieder, daß eine stärkere Trocknung unter Spannungen am Trockengut eintritt, wobei die günstigsten Verhältnisse aber hier bei positiver Spannung erreicht werden, was wohl auf die andere Beschaffenheit des Bleichewickels gegenüber Holz zurückzuführen ist. Bei negativer Aufladung des Trockengutes ist kaum ein Unterschied in der Trocknung festzustellen.

Eine etwas andere Versuchsanordnung weisen folgende Versuche (Fig. 4), wobei das Trockengut nicht aufgeladen war, wohl aber die Kugeldüse aufgeladen wurde und dest. Wasser zerstäubte.

Tab. 27a:

Bleichewickeltrocknung.

Versuch	Anfangsgewicht gr	Spannung KV	Temperatur °C	Gesamtabnahme gr	Abnahme pro Stunde	Zeitdauer in Minuten
1 a	3.600	+80	75	1.428	714	120
1 b	3.597	0	76	1.426	723	120
2 a	3.852	0	68	1.567	1042	90
2 b	3.842	+80	70	1.587	1057	90
3 a	4.340	0	62	1.928	702	165
3 b	4.352	—75	62	1.808	658	165

In Versuch 1 a bis 2 a wurde kein dest. Wasser zerstäubt. 2 b zerstäubt dest. Wasser wie auch 3 b. 3 a keine Zerstäubung von dest. Wasser.

Versuch 1a) und 1b) zeigen eine stärkere Trocknung ohne Spannung, Versuch 2b) dagegen unter einer Düsenspannung von + 80 KV zeigt

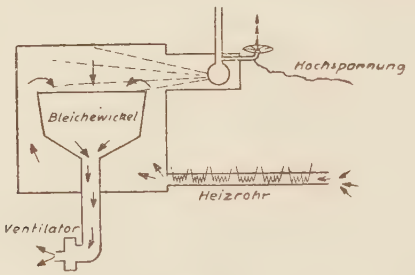


Fig. 4.

trotz der Zerstäubung von dest. Wasser eine stärkere Trocknung als ohne Spannung und ohne Zerstäubung von dest. Wasser. Versuch 3b), wo unter negativer Düsenspannung Wasser zerstäubt wurde, zeigte eine schlechtere Trocknung als ohne Spannung an der Düse.

Zusammenfassend ist also bei der Trocknung von Bleichewickeln zu sagen: die schnellste Trocknung findet unter positiver Spannung am Trockengut satt. Eine größere Trocknung als in gewöhnlich erhitzter Luft tritt auch bei Wasserzerstäubung unter positiver Düsenspannung ein.

6c) Trocknung von Gelatinemasse.

Versuchsanordnung (Fig. 5):

In einem Holzkasten von 1 cbm Inhalt war zentral die Kugeldüse von Barthel angebracht, die in ein Absaugrohr von 1,5 m Länge

dest. Wasser zerstäubte und unter Spannung gesetzt werden konnte. Der Luftwechsel betrug 300 cbm pro Stunde, 2 Föhnventilatoren erhitzten die Luft im Kasten in den ersten fünf Versuchen, später wurde die Erwärmung der Luft durch ein Ansaugrohr, in dem drei elektrische Heizkörper angebracht waren, vorgenommen. Die feuchte Gelatinemasse wurde auf eine Glasplatte (9 × 12) aufgetragen und in 1 m Entfernung von der Kugeldüse auf ein Brett mit der feuchten Seite nach oben in das Absaugrohr gelegt. Die Luftgeschwindigkeit in dem Absaugrohr betrug 4—5 m pro Sekunde. In 100 ccm dest. Wasser wurden 5 g Gelatine bei einer Temperatur von 48° C aufgelöst. Dann erkaltete die Masse bis auf 25° C und ein Teil davon wurde in diesem Zustand mittels eines Glasstäbchens auf eine vorher genau

Tab. 28:

Trocknung von Gelatinemasse.

Versuch	Düsenspannung KV	Gewicht der feuchten Masse mg	Temperatur °C	relat. Feuchtigkeit %	Gesamte Gewichtsabnahme mg	Zeitdauer d. Trocknung Minuten
1	0	5.181	33	32	4.950	105
2	—75	5.050	33	27	4.789	135
3	—70	5.160	33	35	4.882	90
4	0	5.133	32	28	4.864	125
5	—75	5.380	32	31	5.092	115
6	0	5.165	41	26	4.920	95
7	—75	5.215	41	22	4.948	80
8	0	5.270	51	18	5.008	53
9	—75	5.123	50	15	4.865	66
10	—75	5.060	51	17	4.810	50
11	—70	5.025	52	20	4.778	51
12	0	5.249	51	14	4.995	66
13	—75	5.059	42	30	4.823	80
14	0	5.039	43	26	4.779	90
15	—70	5.071	44	25	4.815	90
16	0	5.234	44	29	4.990	100
17	0	5.268	44	33	5.018	100
18	—75	5.275	43	34	5.015	80
19	+80	5.059	50	17	4.862	50
20	0	5.230	50	15	4.986	70

Von Versuch 8 ab wurde schon nach 40 Minuten öfter unterbrochen, um die Gewichtsabnahme festzustellen. — Bei Versuch 1 klebte die Platte noch. — Versuch 9 wurde zu spät bemessen.

abgewogene Glasplatte aufgetragen. Nach 5 Minuten war die Masse so fest, daß die Platte wiederum gewogen werden konnte, um das Gewicht der feuchten aufgetragenen Masse festzustellen. Der Versuch wurde in den ersten Stunden 2mal um 3 Minuten unterbrochen, um die Gewichtsabnahme festzustellen; am Ende der Trocknung wurde öfter unterbrochen, um den Zeitpunkt der vollständigen Trocknung einigermaßen genau zu fixieren.

Alle Versuche zeigen übereinstimmend bei trockener Zerstäubung unter Spannung an der Kugeldüse eine schnellere Trocknung als ohne Spannung. Wurde unter gleichzeitiger Spannung dest. Wasser zerstäubt, so trat wohl eine viel gleichmäßigere Trocknung ein, doch wurde die Trockenzeit über die der gewöhnlichen Lufttrocknung erhöht. Auch ohne Zerstäubung von dest. Wasser, aber unter Düsenspannung, war eine gleichmäßigere Trocknung festzustellen. Nach der ersten halben Stunde der Trocknung lagen die Werte für die Gewichtsabnahme ohne Spannung an der Düse bedeutend höher als mit Spannung. Bei diesen Trocknungsversuchen war es gleichgültig, ob die Düse eine positive oder negative Spannung hatte. Bemerkenswert ist noch, daß trotz Zerstäubung von dest. Wasser (Versuch 2) die relative Feuchtigkeit bei gleicher Temperatur geringer ist als ohne Zerstäubung von dest. Wasser (Versuch 1 und 3).

Trocknung einer Paste, die aus Boluspulver und dest. Wasser angerührt wurde.

Die Versuchsanordnung war dieselbe wie bei der Trocknung von Gelatinemasse. Auch hier wurde die feuchte Masse auf Glasplatten aufgetragen. Auf 8332 mg Boluspulver kamen 20 ccm dest. Wasser.

Tab. 29:

Trocknung von Boluspulver.

Versuch	Düsenspannung KV	Gewicht der feuchten Masse mg	Temperatur °C	relat. Feuchtigkeit %	Gesamte Gewichtsabnahme mg	Zeitdauer d. Trocknung Minuten
1	0	4.330	57	11	2.893	25
2	+80	4.430	56	12	2.909	20
3	+80	9.520	50	18	6.613	55
4	0	9.444	52	16	6.510	60

Auch bei letzteren Versuchen ist wieder eine schnellere Trocknung unter Spannung an der Düse festzustellen.

Alle Trocknungsversuche zeigen übereinstimmend, daß bei entsprechend gewählter Versuchsanordnung bei Spannung am Trockengut oder Spannung an der Kugeldüse der Trocknungseffekt größer ist

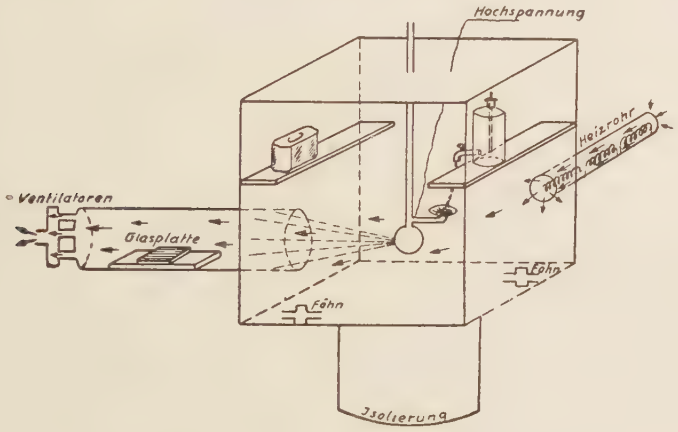


Fig. 5.

gegenüber der Trocknung in gewöhnlicher Luft. Weiter ist festzustellen, daß auch künstlich ionisierte Luft günstig auf die Trocknung einwirkt und daß sich fast jedes Trockengut anders verhält, es also außerordentlich schwer ist, eine passende Erklärung für die schnellere Trocknung zu finden, da zu viele Faktoren berücksichtigt werden müssen.

7. Die Möglichkeit des Weiterleitens von unipolarer Luft.

Im Verlauf der Versuche tauchte die Frage auf, ob die Möglichkeit besteht, unipolar aufgeladene Luft durch ein geeignetes Rohrsystem an weiter entfernte Orte von der Herstellungsquelle weiterzuleiten. Zu diesem Zweck wurde ein verzinktes Eisenrohr von 5,5 m Länge und einem Innendurchmesser von 67 mm horizontal auf einer starken und hohen Pertinaxisolierung angebracht. Vor der einen Öffnung des Rohres befand sich in gleicher Höhe etwa 20 cm entfernt die Düsenöffnung der Barthel'schen Kugel, während vor der anderen Rohröffnung der Ebert'sche Ionenzähler, mit der Schutzkappe in

gleicher Höhe wie das Rohr, etwa 25 cm entfernt, zur Aufstellung kam (Fig. 6).
Nach einer vorhergehenden Ionenmessung der im Meßraum befindlichen Luft, die ganz normale Verhältnisse zeigte, wurde die Kugel-

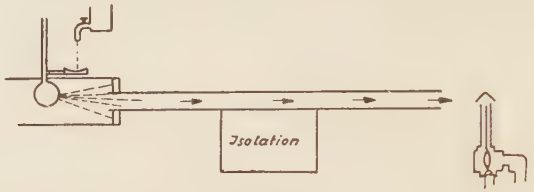


Fig. 6.

düse oder das Rohr aufgeladen. Es wurde dabei dest. Wasser unter 3 Atü zerstäubt.

Tab. 30:

Weiterleitung von unipolarer Luft.
(Am Ende des Rohres gemessene Werte)

Gruppe 1.

Versuch	Anzahl der Messungen	Spannung der Kugeldüse KV	Aufladung des Rohres KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E.S.E. E_+	x10^{-6} E.S.E. E_-	q_E
1	4	—60	0	320	320	25,3	405	0,06
2	6	+65	0	318	316	405	28,1	14,4
3	2	0	0	322	315	180	125	1,4
4	4	0	0	320	319	116	125	0,93
5	9	0	+74	320	320	101	5,68	17,8
6	9	0	—70	320	320	107	387	0,28
7	2	0	0	320	320	1,35	1,45	1,07
8	2	0	—70	320	320	0,28	1,72	0,17
9	2	0	0	320	320	1,54	1,54	1,00
10	4	—70	0	320	320	3,57	5,04	0,71
11	4	—70	—70	320	320	3,04	3,96	0,77
12	4	0	—70	320	318	30,3	32,4	0,94
13	4	0	+70	315	320	35,9	33,6	1,07
14	1	0	0	320	—	0,17	—	—

Bis einschließlich Versuch 7 wurden 20 bis 30 ccm dest. Wasser pro Min. zerstäubt. — Versuch 8 weder Wasser- noch Luftzerstäubung; alle weiteren Versuche nur Luftzerstäubung.

Bei Versuch 1 bis 4 wurde 25 ccm entfernt vom Rohr gemessen. Von Versuch 5 ab 20 cm.

Bei folgenden Versuchen wurde die Versuchsapparatur etwas geändert (Fig. 7).

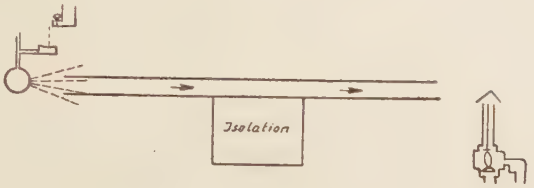


Fig. 7.

Die Kugeldüse war hier mit einem Isolationsrohr von 25 cm Durchmesser umgeben, das auf der einen Seite die 5,5 m lange Röhre fest einschloß, auf der anderen Seite dagegen offen war. Trotz der Isolation hatte sich bald nach Einsetzen der Zerstäubung von Wasser das Rohr auf dieselbe Spannung wie die Kugeldüse aufgeladen.

Tab. 30a:

Weiterleitung von unipolarer Luft.
(Am Ende des Rohres gemessene Werte)

Gruppe 2.

Versuch	Anzahl der Messungen	Spannung der Kugeldüse KV	Aufladung des Rohres KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E.S.E. E_+	x10^{-6} E.S.E. E_-	q_E
1	14	—60	—60	318	315	23,8	180	0,13
2	6	—60	—60	320	320	108	649	0,17
3	2	0	0	318	320	0,20	0,19	1,08
4	2	0	0	320	322	3,18	10,8	0,29
5	6	+65	+65	320	320	54,0	38,7	1,39
6	2	—60	—60	325	323	54,2	1080	0,05
6a	8	—60	—60	326	324	57,8	296	0,20
7	9	—60	—60	323	320	47,7	98,5	0,48
8	12	+64	+64	320	320	119	93,0	1,28
9	6	0	0	322	322	135	140	0,97
10	9	+64	+64	323	322	121	79,0	1,53

Bei Versuch 1 und 2 wurden 20 bis 30 ccm dest. Wasser zerstäubt. Dabei war der Ionenzähler bei 1 30 cm, bei 2 10 cm von der Austrittsöffnung des Rohres entfernt. — Bei Versuch 3 weder Luft- noch Wasserzerstäubung. Bei Versuch 4 Wasserzerstäubung, bei Versuch 5 Luftzerstäubung. — Versuch 6 bis 10 20 bis 30 ccm dest. Wasser. — Versuch 3 bis 5 Ionenzähler 10 cm von der Austrittsöffnung des Rohres entfernt, Versuch 6 und 6a 30 cm, Versuch 7 15 cm, Versuch 8—10 20 cm.

Bei folgenden Messungen befand sich die Schutzkappe des Ebert'schen Ionenzählers etwas tiefer als die Rohröffnung, sonst war die Versuchsanordnung dieselbe wie bei der zweiten Gruppe.

Tab. 30b:

Weiterleitung von unipolarer Luft.
(Am Ende des Rohres gemessene Werte)

Gruppe 3.

Versuch	Anzahl der Messungen	Spannung der Kugeldüse KV	Aufladung des Rohres KV	G cm/sec für E_+	G cm/sec für E_-	x10^{-6} E.S.E. E_+	x10^{-6} E.S.E. E_-	q_E
1	4	+64	+64	325	326	147	31,8	4,63
2	6	+64	+64	324	326	148	30,7	4,82
3	4	—60	—60	320	320	19,3	151	0,13
4	4	—60	—60	324	322	49,2	163	0,30

Es wurden 20 bis 30 ccm dest. Wasser zerstäubt. Die Entfernung des Ionenzählers von der Austrittsöffnung des Rohres war in Versuch 1 und 4 20 cm, in Veruch 2 und 3 10 cm.

Aus der ersten Gruppe der Versuche ist zu ersehen, daß die stärkste Unipolarität bei den Versuchen 1), 2) und 5) auftritt, doch sind diese Werte ziemlich genau übereinstimmend mit den Werten, die in 5 m Entfernung, bei einer Düsenspannung von— 100 KV und + 100 KV gefunden wurden, ohne Benutzung eines Leitrohres. Von Bedeutung sind aber die Versuche 5) und 6), die zeigen, daß, wenn Wasser ohne Spannung zerstäubt und durch ein aufgeladenes Rohr geleitet wird, am Ende dieses Rohres in der Luft eine ziemlich starke Unipolarität festzustellen ist. Auf Grund dessen ist es also wohl möglich, unipolar geladene Luft über weite Strecken zu leiten, wenn nur das Rohr genügend hohe und dieselbe Art der Ladung wie die Luft aufweist. Wird nur dest. Wasser zerstäubt, ohne Spannung an der Düse und am Rohr, so steigt die positive wie auch die negative Elektrisierung der Luft auf den 100fachen Wert für Luft an, wobei aber die negativen Ionen überwiegen, q_E gibt den ungefähr gleichen Wert wie Luft. Versuch 3) weist eine Fälschung vom vorhergehenden Versuch auf. Wir haben es hierbei wohl mit dem Abklingen der Ladungen zu tun, da dieser Versuch kurz auf Versuch 2) folgte.
Auch aus der zweiten Gruppe, wobei die Düse indirekt mit dem Rohr in Verbindung stand, ergeben sich ungefähr dieselben Ergebnisse, die

positive Unipolarität ist bei positiver Aufladung der Düse und des Rohres nicht so gut ausgeprägt wie in der ersten Gruppe. Der Lenard-Effekt tritt sehr deutlich im vierten Versuch in Erscheinung. Warum eine so starke Schwankung bei gleicher Versuchsanordnung in Versuch 6) und 6a) innerhalb der Werte für die negative Elektrisierung der Luft auftritt, ist kaum erklärlich, es sei denn, daß im Versuch 6) die Isolierung des Ebert'schen Ionenzählers im Falle der negativen Ionenmessung stark verunreinigt war.
Die dritte Gruppe beweist, daß gleich unter den Austrittsstellen des Rohres die stärkste Unipolarität auftritt.

8a) Messungen mit Anemostaten.

(Giesenkirchen, Frankfurt/M.)

Um zu untersuchen, ob die starke Unipolarisierung der Luft tatsächlich von der Düsenwirkung der Barthel'schen Kugeldüse abhängt, benutzte ich für weitere Versuche einen Anemostaten, d. h. eine Hohlkugel von 30 cm Durchmesser aus dünnem Blech. Die Kugel war regelmäßig von kreisrunden Löchern vom Durchmesser von ungefähr 0,5 cm durchbrochen. Wurde durch diese Kugel ein Luftstrom von 208 cbm/Stunde mit Hilfe eines Ventilators durchgeblasen, so verspürte man schon in 2 cm Entfernung keinen sinnlich wahrnehmbaren Luftstrom mehr, d. h. eine Düsenwirkung konnte hier unter keinen Umständen eintreten. Der Anemostat war, isoliert, durch eine starke Pertinaxröhre aufgehängt und konnte auf beliebig hohe Spannung aufgeladen werden.
Wurde der Anemostat auf — 70 KV aufgeladen und in einer Entfernung von 1,2 m gemessen, bei einer durchgeblasenen Luftmenge von 208 cbm/Stunde, so ergaben sich folgende Werte für die abgegebenen Ladungen:
$E_+ = 0{,}385 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}811 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}475$.
Das bedeutet ungefähr doppelt so viel negative wie positive Ionen. Es ist also auch hier eine Ionisierung der Luft festzustellen, nur ist sie bedeutend schwächer als bei der Zerstäubung von Luft durch die Kugeldüse. Hier ergaben sich ja bei den gleichen Versuchsverhältnissen für

$E_+ = 2{,}91 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 8{,}26 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}352$.

Scheinbar ist also die starke Elektrisierung der Luft von der Düsenwirkung abhängig.

Folgender Versuch wurde unter den gleichen Bedingungen ausgeführt, nur daß statt der durchgeblasenen Luft, die Luft an dem Anemostaten vorbeigeblasen wurde. Es ergaben sich für:

$E_+ = 0{,}371 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}467 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}796$,

d. h. ein Überschuß der negativen über die positiven Ionen von ungefähr 20 v. H. Die Elektrisierung der Luft geht also, bezogen auf den vorhergehenden Versuch, auf ungefähr die Hälfte zurück.

Wurde durch den Anemostat 208 cbm Luft pro Stunde geblasen, bei einer Spannung von −60 KV und außerdem Luft am Anemostat vorbeigeblasen, so muß sich die negative Elektrisierung der Luft erhöhen, was auch folgende Werte bestätigen:

$E_+ = 0{,}362 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 1{,}152 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}314$.

Bei aufgeladenem Anemostat auf + 90 KV und einer durchgeblasenen Luftmenge von 208 cbm/Stunde ergab sich in derselben Entfernung von 1,2 m vom Anemostaten ein $q_E = 1{,}4$.

Hieraus geht hervor, daß trotz der stärkeren positiven Aufladung die Ionisierung der Luft kleiner wird. Noch stärkere Unterschiede zeigten sich ja bei der Zerstäubung von dest. Wasser (Brunnenwasser) bei positiver und negativer Spannung. Dort ist auch die Ionisierung der Luft bei positiver Aufladung der Kugeldüse bedeutend schwächer gegenüber der negativen Aufladung.

Messungen in Frankfurt/Main.

Rechts und links von der Kugeldüse befanden sich 2 schon vorher beschriebene Anemostate; diese wurden mit Luft beschickt, die vorher

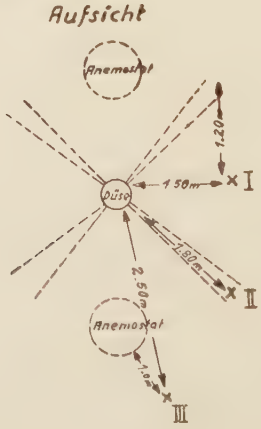


Fig. 8.

über eine Wasserberieselungsanlage geleitet wurde, so daß die Feuchtigkeit dieser Luft nahe der Sättigung war. Das Rohrsystem von der Wasserberieselungsanlage zu den Anemostaten ging erst 1 m vertikal in die Höhe, ungefähr 2,5 m horizontal, um dann 0,5 m vertikal nach unten in die Anemostate einzumünden.
Vorerst wurde eine Ionenmessung für die in dem Raum enthaltene Luft durchgeführt. Es ergab sich für

$E_+ = 0{,}26 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}26 \times 10^{-6}$ E.S.E., $p_E = 1$.

In folgenden Versuchen strömte durch die beiden Anemostate feuchte Luft. Bei Aufstellung I ergaben sich folgende Werte:

$E_+ = 1{,}29 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 2{,}58 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}50$.

Bei Aufstellung II:

$E_+ = 1{,}89 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 3{,}31 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}57$.

Bei Aufstellung III:

$E_+ = 1{,}80 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 3{,}98 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}45$.

Es ist in allen drei Fällen eine starke Elektrisierung der Luft festzustellen. Die negativen Ionen überwiegen um ungefähr das Doppelte, ein Zeichen, daß auch hier der Lenard-Effekt auftritt. Das Über-

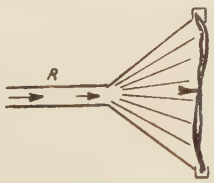


Fig. 9.

wiegen der negativen Ionen über die positiven ist besser ausgeprägt als bei der Zerstäubung von dest. Wasser mit Hilfe der Kugeldüse, die Elektrisierung in den einzelnen Vorzeichen etwa 10mal schwächer. In folgenden Versuchen sollte der Unterschied zwischen 2 verschiedenen Anemostatsystemen untersucht werden (Fig. 9 und 10).
Zu Fig. 9: Eine Röhre R mündet in ein System von kelchförmig auseinandergehenden Luftkanälen, vor deren Außenöffnungen ein Propeller angebracht ist, der durch den Luftstrom angetrieben wird. Hierbei ist schon deutlich in 20 cm Entfernung vom Propeller ein Luftstrom zu verspüren. Die hindurchgeleitete Luft ist dieselbe wie

bei dem vorhergehenden Anemostat (Versuch 8a). Beide Anemostate sind durch ein Röhrensystem mit der Berieselungsanlage gekoppelt, aber mit einer Abstellvorrichtung versehen, so daß sie auch einzeln in Betrieb gesetzt werden können. Vorerst wurde wieder eine Ionenmessung der im Raum befindlichen Luft durchgeführt. Es ergab sich für:

$E_+ = 0{,}28 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}26 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 1{,}05$.

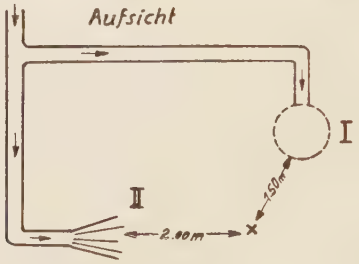


Fig. 10.

Zu Fig. 10: Wenn Anemostat II in Betrieb gesetzt ist, ergeben sich aus 4 Messungen folgende Mittelwerte:

$E_+ = 1{,}04 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 2{,}51 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}415$.

Wenn Anemostat I in Betrieb gesetzt ist, ergeben sich aus 4 Messungen folgende Mittelwerte:

$E_+ = 1{,}61 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 3{,}12 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}516$.

Die Elektrisierung der Luft ist im letzten Fall etwas stärker als bei II, was wohl auf eine weniger gute Luftverteilung bei Anemostat II zurückzuführen ist. Die etwas verschieden weite Entfernung des Ionenzählers von den Anemostaten wird auch etwas dazu beitragen. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Systemen besteht aber nicht.

Bei folgenden Messungen wurde an den Anemostaten I eine Spannung von −70 KV gelegt. Als Mittelwert aus 6 Messungen ergaben sich für

$E_+ =$ nahe Null, $E_- = 165{,}5 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E =$ nahe Null.

Die negative Elektrisierung der Luft beträgt danach das 630fache der vorher im Raum befindlichen Luft. Die positive ist nahezu Null. Das bedeutet eine starke negative Unipolarität, die wohl der bei der Zerstäubung von dest. Wasser unter Düsenspannungen gleichzusetzen ist. Die künstliche Ionisierung ist also nicht von der Düsenwirkung

der Barthel'schen Kugeldüse abhängig, sondern es ist anzunehmen, daß mit jeder Apparatur, die das gleiche Grundprinzip aufweist, die gleichen, wenn nicht noch bessere Ergebnisse erzielt werden können.

8b) Neuer Apparat zur künstlichen Ionisierung von Ziv.-Ing. H. Meixner (Lufterneuerer Fig. 11).

Es ist dies ein Gerät, welches auch mit Zerstäubung von Wasser arbeitet, zusätzlich einen Luftstrom in Richtung des zerstäubten Wassers aufweist, so daß eine gute Durchmischung von feinsten Wassertröpfchen und Luft stattfindet. Das Gemisch wird dann von einer Quarzlampe bestrahlt.

Zu Fig. 11: 2 Düsen A und B zerstäuben Brunnenwasser. Der Elektromotor C treibt einen Propeller, der seitlich die Raumluft ansaugt

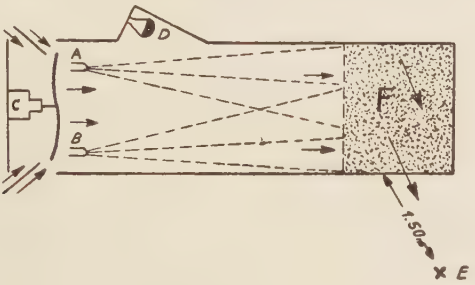


Fig. 11.

und in Richtung der Wasserstrahlen dreht, so daß eine gute Durchmischung der Luft mit den Wassertröpfchen eintritt und die Luft dadurch mit Feuchtigkeit stark angereichert wird. Das Luft-Wasser-Gemisch wird der Bestrahlung einer Quarzlampe bei D ausgesetzt. Damit die großen Wassertröpfchen nicht in den Meßraum gelangen, ist bei F ein Filter aus feinsten bis zu gröberen Kieselsteinen davorgesetzt. Bei E in 1,5 m Entfernung von der Austrittsöffnung der so behandelten Luft befindet sich die Kappe des Ebert'schen Ionenzählers. Beim ersten Versuch wurde nur der Propeller eingeschaltet. Es ergaben sich dieselben luftelektrischen Verhältnisse wie bei einer Ionenmessung im Raum.

Beim zweiten Versuch trat zusätzlich die Wasserzerstäubung hinzu. Folgende Mittelwerte sind aus 5 Messungen errechnet worden:

$E_+ = 0{,}29 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}52 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}55$.

Die positive Elektrisierung ist gegenüber der Zimmerluft fast ungeändert, die negative ungefähr das Doppelte. Es sind keine positiven Ionen neuerzeugt worden, wohl aber negative (Lenard-Effekt), denn eine Ionenmessung im Raum ohne den arbeitenden Lufterneuerer gab für

$E_+ = 0{,}30 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}27 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 1{,}12$.

Beim dritten Versuch wurde die Luft mit Hilfe des Ventilators unter der bestrahlenden Quarzlampe durchgeblasen.

$E_+ = 0{,}38 \times 10^{-6}$ E.S.E., $E_- = 0{,}58 \times 10^{-6}$ E.S.E., $q_E = 0{,}45$.

Es tritt eine ganz geringe Erhöhung der positiven Ionen ein, die negativen gehen auf etwas über das Dreifache des Normalwertes:
Beim vierten Versuch wurde die ganze Apparatur eingeschaltet. Es ergaben sich folgende Werte:

	Zeitdauer der Messung min.	Aufladung des Zerstreuungskörpers	$V_0 - V_t$ Volt
(I)	5	+	62
	5	−	6
(II)	2	−	5
	4	+	34
(III)	2	+	18
	2	−	4,5
(IV)	2	+	14

Deutlich ist eine Abschwächung der negativen Elektrisierung der Luft gegen Ende der Meßreihe festzustellen. Den Grund dafür bildete die noch etwas unvollkommene Ausführung der Apparatur. Im Anfang hatte die Quarzlampe ihre volle Intensität, bei der Zerstäubung von Wasser kühlte sich die Lampe durch Spritzwasser derart stark ab, daß sie fast zum Verlöschen kam. Dieser Versuch beweist deutlich, daß die stärkere Elektrisierung der Luft auf der Bestrahlung der Quarzlampe beruht. Die Berechnung von E_+ und E_- sowie q_E wurde für die einzelnen Meßergebnisse der Versuchsreihe durchgeführt.

	x10−6 E. S. E. E_+	x10−6 E. S. E. E_-	q_E
I	0,57	5,87	0,10
II	1,18	4,03	0,29
III	1,06	4,26	0,25
IV	1,06	3,31	0,32

Bei I beträgt die negative Elektrisierung das 22fache, die positive das 2fache der Luft. Die negative überwiegt die positive um das 10fache.

Bei IV ist die negative Elektrisierung nur mehr das 12 fache der Luft; die negative überwiegt die positive um das 3 fache.

9. Zusammenfassung.

Es ist möglich, mit Hilfe der Barthel'schen Kugeldüse künstlich Ionen zu erzeugen, die allerdings größer sind als die Luftionen (bei der Zerstäubung von dest. Wasser). Bei der Zerstäubung von Luft tritt ohne Düsenspannung keine Ionisierung auf, mit Düsenspannung nehmen dagegen sowohl die positiven als auch die negativen Ionen, in Abhängigkeit von der Ladungsart der Düse zu; trotzdem ist die Entstehung unipolar aufgeladener Luft unmöglich. Bei der Zerstäubung von dest. Wasser unter Düsenspannung wachsen dagegen die elektrischen Ladungen sehr stark an und es tritt deutliche Unipolarität auf, die im Durchschnitt größer ist als bei allen anderen zerstäubten Lösungen. Öle zeigen bei ihrer Zerstäubung unter Spannung nicht eindeutige Verhältnisse, wohl in Abhängigkeit von der Art des Öles; es ist aber doch anzunehmen, daß hier die geringste Elektrisierung auftritt. Die künstliche Ionisierung ist von der Art, wie zerstäubt wird, und der Zusammensetzung der Lösung stark abhängig. Geringste Verunreinigungen führten zu ganz anderen Ergebnissen. Bei geeigneter Versuchsapparatur ist es möglich, unter Spannung am Trockengut sowie auch künstlich ionisierter Luft eine schnellere und gleichmäßigere Trocknung zu erreichen. Unipolar geladene Luft kann durch ein gleichpolig aufgeladenes Rohr weitergeleitet werden, die Ladungsträger nehmen dabei etwas ab. Künstliche Ionisierung und eine sehr starke Unipolarität ist durch den Barthel'schen Anemostat zu erzielen, wenn die austretende Luft vorher mit Feuchtigkeit stark angereichert wurde; der von H. Meixner konstruierte und zur Verfügung gestellte Lufterneuerer weist dagegen bedeutend schwächere Elektrisierung auf, die aber

verstärkt werden kann, wenn die Apparatur von den ihr anhaftenden Mängeln befreit wird.

Die vorliegende Arbeit wurde auf Anregung von Herrn Prof. K. Kähler (Potsdam) ausgeführt. Die Zerstäubungsmessungen fanden außer in Potsdam statt in Köln-Lindenburg, in der medizinischen Klinik der Universität auf Anregung von Herrn Prof. Wedekind und Mitwirkung von Herrn Dr. Gohr, in Frankfurt/Main im Physiolog. Institut der Universität auf Anregung von Herrn Prof. Küster. Die Trocknungsversuche wurden in Rheydt-Giesenkirchen durchgeführt auf Anregung und mit Unterstützung von Herrn Fabrikbes. H. Pferdmenges und unter Mitwirkung von Herrn Dipl.-Ing. Isler.

Allen Herren und besonders Herrn Prof. K. Kähler bin ich für ihre Unterstützung und Anregungen zu dauerndem Dank verpflichtet.

Lebenslauf.

Als Sohn des Wetterdienstleiters Dr. phil. Adolf Treibich wurde ich zu Bromberg am 6. Juni 1914 geboren. Durch den unglücklichen Ausgang des Krieges wurden wir 1919 gezwungen, Bromberg zu verlassen und nach Berlin überzusiedeln. In Berlin besuchte ich die Oberrealschule und bestand im April 1935 die Reifeprüfung. Nach anschließender einhalbjähriger freiwilliger Arbeitsdienstzeit bezog ich im Wintersemester 1935 die Universität zu Breslau und hörte dort Physik und Mathematik. Nach Beendigung des „Ostsemesters", ging ich 1936 zur Friedrich-Wilhelms-Universität in Berlin über und studierte bis zum Wintersemester 1938/39. Hier waren meine Lehrer die Herren Professoren: Bartels, Defant, v. Ficker, Knoch, Kähler, Kölzer, Krebs, Robitzsch, Wehnelt, Wüst, Kolhörster und Zistler.

Meiner Wehrpflicht habe ich Genüge geleistet. Im Jahre 1933 trat ich der NSDAP. bei und bin dort seit April 1934 politischer Leiter.

Kurt Treibich.